

PROYEK AKHIR TERAPAN - RC 146599

EVALUASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN ONE EAST RESIDENCES DI WILAYAH GEMPA TINGGI SESUAI SNI 03-1726-2012 DAN METODE PELAKSANAAN KOLOM DAN DINDING GESER

MUHAMMAD RIZKY FAJAR BAHARI
NRP 3113 041 083

Dosen Pembimbing I
Ir. Boedi Wibowo, CES
NIP 195304241982031002

Dosen Pembimbing II
Afif Navir Refani ST., MT.
NIP 198409192015041001

**PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



PROYEK AKHIR TERAPAN - RC 146599

**EVALUASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN
ONE EAST RESIDENCES DI WILAYAH
GEMPA TINGGI SESUAI SNI 03-1726-2012
DAN METODE PELAKSANAAN KOLOM
DAN DINDING GESER**

**MUHAMMAD RIZKY FAJAR BAHARI
NRP 3113 041 083**

**Dosen Pembimbing I
Ir. Boedi Wibowo, CES
NIP 195304241982031002**

**Dosen Pembimbing II
Afif Navir Refani ST., MT.
NIP 198409192015041001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - RC 146599

**STRUCTURAL EVALUATION OF ONE EAST
RESIDENCES APARTMENT FOR HIGH-RISK
EARTHQUAKE AREA BASED ON
SNI 03-1726-2012 AND CONSTRUCTION
METHODS OF COLUMNS AND SHEARWALLS**

**M. RIZKY FAJAR BAHARI
NRP 3113 041 083**

**Supervisor I
Ir. Boedi Wibowo, CES
NIP 195304241982031002**

**Supervisor II
Afif Navir Refani ST., MT.
NIP 198409192015041001**

**DEPARTMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING
FACULTY OF VOCATIONAL
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN ONE EAST RESIDENCES DI WILAYAH GEMPA TINGGI SESUAI SNI 03-1726-2012 DAN METODE PELAKSANAAN KOLOM DAN DINDING GESER

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan
Pada

Program Studi D-IV Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

MUHAMMAD RIZKY FAJAR BAHARI
NRP 3113 041 083

27 JUL 2017

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. BOEDI WIBOWO, CES

AFIF NAVIR REFANI, ST, MT.

NIP 19530424 1982031 002

NIP 19840919 2015041 001

SURABAYA, JULI 2017

**EVALUASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN
ONE EAST RESIDENCES DI WILAYAH GEMPA TINGGI
SESUAI SNI 03-1726-2012 DAN METODE
PELAKSANAAN KOLOM DAN DINDING GESER**

Nama Mahasiswa : M. Rizky Fajar Bahari
NRP : 3113041083
Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil, FV-ITS
Dosen Pembimbing I : Ir. Boedi Wibowo, CES
Dosen Pembimbing II : Afif Navir Revani S.T., M.T.

Abstrak

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang di dunia dengan tingkat perkembangan penduduk yang tinggi. Tingginya kepadatan penduduk tersebut mendorong adanya pembangunan yang berkaitan dengan kebutuhan akan tempat tinggal dengan lahan yang terbatas. Pembangunan hunian bertipe vertical seperti Apartemen merupakan sebuah solusi yang tepat jika diperuntukkan untuk perkotaan. Pada gedung tinggi dan multi-stories, beberapa masalah dapat timbul akibat adanya gempa, seperti contoh besarnya periode getar struktur gedung, maupun besarnya simpangan antar lantai yang terjadi akibat gempa. Oleh karenanya perlu adanya perlakuan dan analisa khusus terhadap gedung tinggi dan perilakunya terhadap gaya gempa.

Berdasarkan hasil analisa, evaluasi, dan trial and error terhadap struktur gedung One East Residences, diperoleh hasil bahwa tidak semua elemen-elemen struktur primer seperti balok, kolom serta dinding geser masih mencukupi dari segi kapasitasnya dalam menahan gaya yang terjadi. Pada elemen kolom, aksial yang terjadi masih belum memenuhi sehingga diperlukan adanya pemotongan lantai. Lalu, pada beberapa elemen balok, momen yang terjadi melebihi kapasitasnya. Pada elemen Shearwall, persyaratan mengenai komponen batas khusus

tidak memenuhi persyaratan sesuai SNI 2847-2013. Selain dari segi kapasitas, pada analisa dinamis struktur gedung One East Residences, periode getar struktur melebihi batas atas yang diisyaratkan oleh SNI 1726-2012 untuk gedung dengan sistem struktur ganda. Hasil analisa struktur menggunakan SAP2000, diperoleh periode getar sebesar 4.2 detik, sedangkan batas atas sesuai persyaratan SNI 1726-2012 adalah 2,7 detik untuk gedung dengan sistem struktur ganda.

Usulan modifikasi pada gedung One East Residences adalah berupa demolisi lantai, untuk mengetahui seberapa kaku struktur jika beban gravitasi dan lantai berkurang, sesuai dengan persyaratan SNI 1726-2012. Dengan menggunakan program bantu SAP2000, diperoleh hasil optimum jumlah lantai gedung one east dalam respon dinamisnya adalah 13 lantai. Hasil dari evaluasi ini dituangkan dalam bentuk gambar dengan menggunakan program bantu AUTOCAD, dan tabel rekapitulasi kapasitas penampang.

Kata Kunci: Evaluasi, Gempa, Gedung Tinggi, Stabilitas, Trial and Errors

**STRUCTURAL EVALUATION OF ONE EAST
RESIDENCES APARTMENT FOR HIGH-RISK
EARTHQUAKE AREA BASED ON SNI 03-1726-2012
AND CONSTRUCTION METHODS OF COLUMNS
AND SHEARWALLS**

Name	: M. Rizky Fajar Bahari
NRP	: 3113041083
Department	: Teknik Infrastruktur Sipil, FV-ITS
Supervisor I	: Ir. Boedi Wibowo, CES
Supervisor II	: Afif Navir Revani S.T., M.T.

Abstract

Indonesia is one of the developing countries in the world with high population growth rate. The high population density encourages development related to the need for shelter. A vertical-dwelling like apartments building is one of the best solutions for any urban areas. However, on high rise and multi-stories building, some problems may occur due to the effect of earthquake, for example the fundamental periods that relatively high, also the lateral deformation that become too large due to effect of earthquake. Therefore, it's necessary to have some treatments and analysis for high rise building and its behavior due to earthquake.

Based on analysis, evaluation and trial and errors of One East Residences's building structures. It's found that not all primary structural elements such as beams, columns and shear walls are sufficient in terms of their capacity to withstand the force. For columns, the axial load is larger than its capacities, which means it requires the stories to be demolished. For beams, the bending moment is larger than its capacities. For shear walls, the special boundary elements does not fulfil any requirements which hinted by SNI 2847-2013. In addition to capacity, on the dynamic analysis of One East Residences building structures, the

fundamental periods of One East Residences are far too large than its upper limit which is hinted by SNI 1726-2012 for building with dual-system. The structural results using SAP 2000 shows that the fundamental periods of the building is around 4,2 second while its upper limit is only at 2,75 second.

The structural modification suggested for One East Residences is structural demolition. This modification will show us how rigid the structure if any gravity loads and stories are demolished according to any requirements hinted by SNI 1726-2012. From SAP 2000 analysis results, the optimum stories for One East Residences building is only 13 stories. The results of this structural evaluation will be drawn with AUTOCAD, with summary tables which informed any structural capacities.

Keywords: ***Evaluation, Earthquake, High-Rise Building, Stability, Trials and Errors***

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir terapan dengan judul “Evaluasi Struktur Gedung Apartemen One East Residences di Wilayah Gempa Tinggi Sesuai SNI 1726-2012 dan Metode Pelaksanaan Kolom Dan Dinding Geser” ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penyusunan proyek akhir terapan ini, tentu tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah membantu penulis. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Boedi Wibowo, CES & Bapak Afif Navir Refani ST, MT. Selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, memberikan ilmu dan memberi masukan-masukan serta berbagai koreksi yang berharga khususnya dalam penyusunan Tugas Akhir ini
2. Bapak Dr. Machsus, S.T, M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Infrastruktur Sipil.
3. Seluruh dosen Departemen Teknik Infrastruktur Sipil yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil.

Penulis menyadari dalam penyusunan dan penulisan tugas akhir ini tak lepas dari banyak kesalahan. Oleh karenanya penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan selanjutnya.

Surabaya, 25 Juli 2017

M. Rizky Fajar Bahari
NRP. 3113 041 083

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
Abstrak	iv
<i>Abstract</i>	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Perencanaan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat	3
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Peraturan Perencanaan	5
2.3 Jenis Jenis Struktur	6
2.3.1 Sistem Dinding Penumpu.....	6
2.3.2 Sistem Rangka Gedung	6
2.3.3 Sistem Rangka Pemikul Momen	6
2.3.4 Sistem Ganda	7
2.3.5 Sistem Struktur Gedung Kolom Kantilever	7

2.3.6	Sistem Interaksi Dinding Geser Dengan Rangka....	7
2.3.7	Subsistem Tunggal.....	7
2.4	Elemen Struktur	7
2.4.1	Pelat Lantai	8
2.4.2	Balok.....	9
2.4.3	Kolom	9
2.5	Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>).....	10
2.5.1	Perilaku Struktur Dinding Geser dan Rangka Pemikul Momen.....	12
2.6	Tinjauan Nominal Elemen Struktur	13
2.6.1	Momen Nominal	14
2.6.2	Geser Nominal	16
2.6.3	Torsi Nominal	18
2.6.4	Aksial Nominal	19
2.7	Tinjauan Struktur Terhadap Gempa.....	20
2.7.1	Faktor Keutamaan Gempa	20
2.7.2	Kelas Situs	20
2.7.3	Respon Spektrum.....	21
2.7.4	Parameter Percepatan Spektrum Desain	22
2.7.5	Kategori Desain Seismik.....	23
2.7.6	Kontrol Dinamis Struktur.....	25
BAB III	.....	28
METODOLOGI	.....	29
3.1	Umum	29
3.2	Bagan Alir.....	29
3.3	Pengumpulan Data.....	31

3.4 Studi Literatur	31
3.5 Kriteria Evaluasi Struktur	31
3.6 Pembebanan	32
3.6.1 Beban	32
3.6.2 Kombinasi Pembebanan.....	33
3.7 Evaluasi Perencanaan Struktur Sekunder	34
3.8 Analisa Gaya Dalam dan Permodelan Struktur	37
3.9 Evaluasi Perhitungan Struktur Utama.....	37
1. Evaluasi Struktur Balok	37
2. Evaluasi Struktur Kolom.....	38
3. Evaluasi Struktur <i>Shear Wall</i>	38
3.10 Gambar Output	39
BAB IV	41
ANALISA STRUKTUR	41
4.1 Pembebanan dan Analisa Struktur	41
4.1.1 Beban Mati.....	42
4.1.2 Beban Mati Alat.....	45
4.1.3 Beban Hidup	46
4.1.4 Beban Angin	46
4.1.5 Tinjauan Struktur Terhadap Gempa.....	54
4.1.6 Kombinasi Pembebanan.....	58
4.2 Kontrol Respon Dinamis Gedung.....	61
4.2.1 Kontrol Periode Fundamental	61
4.2.2 Kontrol Gaya Geser Dasar	64
4.2.3 Kontrol Dual System.....	68

4.2.4	Kontrol Simpangan Antar Lantai	69
4.2.5	Kontrol Rasio Partisipasi Massa	73
4.2.6	Kesimpulan Analisa Respon Dinamis Struktur.....	74
4.2.7	Verifikasi Analisa Struktur	77
BAB V	.....	87
EVALUASI STRUKTUR	.....	87
5.1	Evaluasi Struktur.....	87
5.2	Evaluasi Struktur Sekunder.....	87
5.2.1	Struktur Pelat Lantai.....	87
5.2.1.5	Rekapitulasi Pelat Lantai 1 arah	111
5.2.1.6	Kesimpulan Analisa Pelat Lantai	116
5.2.2	Analisa Struktur Tangga.....	119
5.2.2.2	Analisis Struktur Pelat Tangga dan Pelat Bordes .	122
5.3	Evaluasi Struktur Balok Sekunder	142
5.3.2	Pembebanan Balok Sekunder.....	143
5.3.3	Analisa Struktur Balok Sekunder.....	145
5.3.4	Evaluasi Kapasitas Geser Balok	151
5.3.5	Rekapitulasi Balok Sekunder	153
5.4	Evaluasi Stuktur Primer	155
5.4.1	Evaluasi Struktur Balok	155
5.4.2	Evaluasi Struktur Kolom.....	183
5.4.3	Analisa Struktur Shearwall	193
5.4.4	Analisa Struktur Corewall.....	198
5.4.5	Rekapitulasi Evaluasi Struktur Dinding Geser ...	210
BAB VI	.....	211

6.1 Usulan Modifikasi Struktur.....	211
6.2 Kontrol Respon Dinamis Gedung.....	214
6.2.1 Kontrol Periode Fundamental	214
6.2.2 Kontrol Gaya Geser Dasar	216
6.2.3 Kontrol Dual System.....	219
6.2.4 Kontrol Simpangan Antar Lantai.....	220
6.2.5 Kontrol Rasio Partisipasi Massa	223
6.3 Analisa Usulan Modifikasi	225
6.3.1 Analisa Kapasitas Torsi Balok.....	225
6.3.2 Kontrol Retak Balok	227
6.3.3 Analisa Struktur Kolom	229
6.3.3.1 Analisa Konfigurasi Penulangan	229
6.3.4 Analisa Struktur Shearwall.....	234
6.3.4.4 Pemeriksaan Terhadap Syarat Komponen Batas Khusus (<i>Special Boundary Element</i>)	238
6.3.5 Analisa Struktur Corewall.....	240
BAB VII	252
METODE KONSTRUKSI	253
7.1 Pekerjaan Konstruksi Kolom	253
7.1.1 Penentuan As kolom.....	257
7.1.2 Pembesian kolom.....	257
7.1.3 Pemasangan Bekisting Kolom	259
7.1.4 Pengecoran kolom.....	262
7.1.6 Perawatan Beton Kolom.....	265
7.2 Pekerjaan Konstruksi Dinding Geser	265
7.2.1 Fabrikasi Tulangan Dinding Geser	266

7.2.2	Marking (Penentuan As dinding geser)	266
7.2.4	Pemasangan Bekisting	267
7.2.5	Pengecoran Dinding Geser.....	268
7.2.6	Pembongkaran Bekisting dinding geser.....	269
7.3	Time Schedule Pelaksanaan Konstruksi	270
7.3.1	Time Schedule Konstruksi Kolom.....	270
7.3.2	Time Schedule Konstruksi Dinding Geser.....	271
BAB VIII.....		273
8.1	Kesimpulan	274
8.2	Saran	276

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Faktor Keutamaan Gempa	20
Tabel 2. 2 Kategori Resiko	20
Tabel 2. 3 Kelas Situs	21
Tabel 2. 4 Koefisien Situs F_a dan F_v untuk periode pendek 0.2 detik dan 1 detik	23
Tabel 2. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan SDS	24
Tabel 2. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan SDI	24
Tabel 2.7 Sistem Penahan Gaya Seismik	24
Tabel 2.8 Koefisien untuk batas atas periode yang dihitung	25
Tabel 2.9 Nilai Parameter periode pendekatan C_t dan x	25
Tabel 2.10 Simpangan Ijin Antar Lantai	26
Tabel 4. 1 Kategori Resiko Bangunan Gedung	46
Tabel 4. 2 Faktor Arah Angin	47
Tabel 4. 3 Koefisien Tekanan Internal	52
Tabel 4. 4 koefisien tekanan dinding (C_p)	53
Tabel 4. 5 Parameter Percepatan Desain Spektral	56
Tabel 4. 6 Kategori Desain Seismik	58
Tabel 4. 7 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	62
Tabel 4. 8 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	63
Tabel 4. 9 Periode Getar Fundamental Struktur	64
Tabel 4. 10 Base Reaction Awal	65
Tabel 4. 11 Base Reactions Akhir	67
Tabel 4. 12 Besar Gaya Pada SRPM dan Dinding Geser	68
Tabel 4. 13 Perbandingan Gaya pada SRPM dan Dinding Geser dalam Persen	69
Tabel 4. 14 batas ijin simpangan antar lantai	70
Tabel 4. 15 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Arah X	71
Tabel 4. 16 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Arah Y	71
Tabel 4. 17 Modal Partisipasi Massa	73

Tabel 5. 1 Besar Beban Hidup Sesuai SNI 1727-2013.....	88
Tabel 5. 2 Rekapitulasi perhitungan Momen Pada Tangga.....	135
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Perhitungan Momen dengan Beban PPIUG.....	136
Tabel 5. 4 Beban Tangga pada PPIUG 83.....	135
Tabel 6. 1 Nilai Periode Fundamental Gedung Modifikasi.....	215
Tabel 6. 2 Hasil Output Base Reactions SAP.....	217
Tabel 6. 3 Besar V dinamis akibat Gempa	217
Tabel 6. 4 V dinamis setelah Modifikasi.....	218
Tabel 6. 5 Besar Gaya Pada SRPM dan Dinding Geser	219
Tabel 6. 6 Perbandingan Gaya pada SRPM dan Dinding Geser dalam Persen	220
Tabel 6. 7 batas ijin simpangan antar lantai	221
Tabel 6. 8 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Arah X	222
Tabel 6. 9 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Arah Y	222
Tabel 6. 10 Rasio Partisipasi Massa	224
tabel 7. 1 Time Schedule Pekerjaan Kolom	270
Tabel 7. 2 Time Schedule Pekerjaan Dinding Geser	271

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 pelat satu arah (A), pelat dua arah (B).....	8
Gambar 2. 2 Kolom Ikat (1), Kolom Spiral (2), Kolom Komposit (3) menurut Wang & Ferguson, 1986.....	10
Gambar 2. 3 Bearing Walls (A), Frame Walls (B), Core Wall (C)11	
Gambar 2. 4 Interaksi Pada Sistem Rangka Kaku Dan Shear Wall Akibat Beban Lateral Gempa.....	13
Gambar 2. 5 Distribusi Tegangan.....	14
Gambar 2. 6 Parameter spektral percepatan gempa untuk perioda pendek 0,2 detik (SS).....	21
Gambar 2. 7 Parameter spektral percepatan gempa untuk perioda 1 detik (S1).....	22
 Gambar 3.1 Diagram Alir.....	 30
Gambar 3.2 Bagan Alir Pekerjaan Tugas Akhir.....	30
 Gambar 4. 1 Permodelan Struktur Pada SAP 2000	 41
Gambar 4. 2 Grafik Respon Spektrum Wilayah Serui	57
Gambar 4. 3 Denah elemen balok yang ditinjau	77
Gambar 4. 4 Luas tributari pada balok	78
Gambar 4. 5 Hasil Momen Tumpuan Pada SAP	80
Gambar 4. 6 Hasil Momen Lapangan Pada SAP.....	81
Gambar 4. 7 denah kolom yang akan ditinjau pada As E:4.....	82
Gambar 4. 8 Hasil Aksial dari SAP 2000	86
 Gambar 5. 1 Denah Pelat Lantai S-03	 89
Gambar 5. 2 Denah Pelat Lantai S-01	101
Gambar 5. 3 Denah Tangga.....	119
Gambar 5. 4 Gambar Potongan Tangga	120

Gambar 5. 5 Denah Balok Sekunder Tinjauan	143
Gambar 5. 6 Denah Balok Induk yang menjadi tinjauan.....	156
Gambar 5. 7 Momen yang bekerja pada balok akibat kombinasi gempa.....	158
Gambar 5. 8 Momen yang bekerja pada balok akibat kombinasi gempa.....	158
Gambar 5. 9 Momen Lapangan Pada Balok Akibat kombinasi beban.....	159
Gambar 5. 10 Hasil Analisa PCACOL.....	186
Gambar 5. 11 Potongan Melintang Dinding Geser	193
Gambar 5. 12 Hasil Analisa PCACOL untuk Dinding Geser ...	196
Gambar 6. 1 Permodelan Struktur Modifikasi.....	213
Gambar 6. 2 Hasil Analisa PCACOL.....	231
Gambar 6. 3 Analisa Hasil PCACOL pada kolom	232
Gambar 6. 4 Potongan Melintang Dinding Geser	234
Gambar 6. 5 Hasil Analisa PCACOL terhadap Dinding Geser.	237
Gambar 7. 1 Sistem Peri Vario Quattro Formwork.....	254
Gambar 7. 2 Denah TC dan PH.....	255
Gambar 7. 3 Diagram Alir Pekerjaan Kolom	256
Gambar 7. 4 Garis Sipatan.....	257
Gambar 7. 5 Mobilisasi Tulangan Kolom	258
Gambar 7. 6 Pemasangan Tulangan Kolom	259
Gambar 7. 7 Sepatu Kolom	260
Gambar 7. 8 Pemasangan Bekisting Kolom.....	260
Gambar 7. 9 Pemasangan tie rod dan pengaturan Push Pull	261
Gambar 7. 10 Tes Slump.....	262
Gambar 7. 11 Pengecoran Kolom	263
Gambar 7. 12 Pembongkaran Bekisting Kolom.....	264

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang di dunia dengan tingkat perkembangan penduduk yang tinggi. Tingkat perkembangan penduduk yang tinggi di Indonesia ini membuat semakin menipisnya lahan dikarenakan kebutuhan manusia akan tempat tinggal. Tingginya kepadatan penduduk tersebut mendorong adanya pembangunan yang berkaitan dengan kebutuhan akan tempat tinggal dengan lahan yang terbatas.

Pembangunan hunian tipe Apartemen merupakan sebuah solusi yang tepat jika diperuntukkan untuk perkotaan, bertujuan untuk menjadikan kondisi kota menjadi lebih baik di segala sektor, antara lain sektor industri, jasa serta investasi dengan harapan agar perekonomian kota menjadi lebih baik (Sukanto, 2001). Namun perlu diingat bahwa Indonesia adalah negara yang dilewati oleh lempeng tektonik dunia. Hal itu membuat Indonesia adalah salah satu negara dengan tingkat gempa yang tinggi. Sedangkan Apartemen adalah tipe hunian yang berjenis gedung tinggi (*High Rise Buildings*). Pada gedung tinggi dan *multi-stories*, beberapa masalah dapat timbul akibat adanya gempa, seperti contoh besarnya periode getar struktur gedung, maupun besarnya simpangan antar lantai yang terjadi akibat gempa. Oleh karenanya perlu adanya perlakuan dan analisa khusus terhadap gedung tinggi dan perilakunya terhadap gaya gempa. Pada tugas akhir ini, akan berfokus pada gedung apartemen One East Residences Surabaya yang akan di evaluasi untuk mampu diterapkan di wilayah gempa yang tinggi, seperti kota Padang, Jogjakarta, Aceh dan lain sebagainya.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang ditinjau dalam evaluasi perencanaan gedung apartemen One East Residences adalah:

- 1) Bagaimana menentukan permodelan dan asumsi pembebanan?
- 2) Bagaimana asumsi perhitungan menggunakan SNI 2847-2013 dan SNI 03-1726-2012 sebagai acuan dalam evaluasi struktur gedung apartemen One East Residences?
- 3) Bagaimana hasil akhir evaluasi gedung Apartemen One East Residences?

1.3 Tujuan Perencanaan

Tujuan penyusunan Tugas Akhir ini adalah:

- 1) Menganalisa dan mengevaluasi struktur bangunan sesuai peraturan yang ada, sehingga mampu diterapkan pada wilayah dengan gempa tinggi.
- 2) Menghasilkan kesimpulan berupa hasil yang dapat digunakan sebagai pedoman evaluasi dan perencanaan
- 3) Membuat gambar teknik dari hasil evaluasi dengan menggunakan Autocad

1.4 Batasan Masalah

Di dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang menjadi batasan masalah dalam Struktur Gedung ini adalah:

- 1) Tidak meninjau dari segi anggaran biaya dan manajemen konstruksi
- 2) Tidak meninjau dari segi arsitektural
- 3) Tidak meninjau metode pelaksanaan secara keseluruhan
- 4) Pembebanan gempa hanya dilakukan dengan metode dinamis respon spectrum.
- 5) Tidak meninjau struktur bawah meliputi basement dan pondasi

- 6) Evaluasi dikhususkan pada analisa desain kapasitas penampang, dan tidak meninjau pendetailan pada elemen penampang.

1.5 Manfaat

Manfaat penyusunan tugas akhir ini adalah:

- 1) Dapat mengetahui konsep evaluasi struktur gedung tinggi pada wilayah gempa tinggi
- 2) Mengetahui hal-hal yang harus diperhatikan pada saat evaluasi struktur sehingga menghasilkan kesimpulan yang rasional dan mampu diterapkan
- 3) Dapat memberikan referensi dalam evaluasi struktur gedung *Dual-System* tepatnya untuk daerah dengan gempa tinggi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Letak Indonesia yang berada di antara tiga lempeng utama dunia yaitu lempeng Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik serta berada di posisi *Ring of fire* menjadikan Indonesia kerap kali diterpa bencana gempa Bumi dan letusan gunung berapi. Hal itu menyebabkan Indonesia menjadi salah satu negara yang memiliki frekuensi gempa yang tinggi, seperti contoh Gempa Bumi Samudera Hindia pada tanggal 26 Desember 2004 dengan skala 9.1 Skala Richter, Gempa Bumi Sumatra Barat tahun 2009 dengan skala 7.6 Skala Richter, Gempa Bumi Aceh tanggal 7 Desember 2016 dengan skala 6.5 Skala Richter dan lain sebagainya.

Berdasarkan fakta mengenai Gempa Bumi di Indonesia, perlu adanya penerapan peraturan mengenai perancangan bangunan. Diharapkan dengan adanya penerapan tersebut dapat menekan kerugian yang terjadi akibat bencana semaksimal mungkin khususnya gempa bumi.

2.2 Peraturan Perencanaan

Berikut adalah acuan yang digunakan untuk persyaratan evaluasi perencanaan gedung apartment One East Residences, antara lain:

1. SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung,
2. SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung,

Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013).

2.3 Jenis Jenis Struktur

Karena gedung tinggi umumnya merupakan perpaduan dari beberapa jenis struktur, maka penjelasan mengenai sistem struktur utama yang tercantum dalam SNI 03-1729-2002 Tabel 3 antara lain akan dijelaskan sebagai berikut ini:

2.3.1 Sistem Dinding Penumpu

Pada sistem dinding penumpu, tidak terdapat ruang rangka pemikul secara lengkap. beban gravitasi maupun beban lateral didukung sepenuhnya oleh dinding penumpu.

2.3.2 Sistem Rangka Gedung

Sistem rangka gedung umumnya digunakan pada daerah dengan wilayah gempa sedang sampai tinggi. Pada dasarnya sistem struktur ini memiliki rangka sebagai pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul oleh dinding geser.. Pada sistem rangka gedung, kolom dianggap tidak memikul beban lateral. Walaupun demikian, karena dinding geser dan struktur portal merupakan satu kesatuan sistem struktur yang mendukung beban secara bersama-sama, maka struktur dipastikan akan mengalami perpindahan bersama-sama. Oleh karena itu, struktur portal harus di desain sehingga kompatibel dengan dinding geser saat terjadi pembebanan akibat gempa besar.

2.3.3 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom. Oleh karena itu, pada sistem ini peranan balok, kolom serta sambungan antara balok dan kolom sangatlah penting.

2.3.4 Sistem Ganda

Sistem ganda merupakan system kombinasi dari Dinding Geser dan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM), cara kerja Sistem Ganda dalam hal ini adalah:

1. Rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi;
2. Beban lateral dipikul oleh dinding geser dengan kombinasi rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur;
3. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang kurangnya 25% dari seluruh beban lateral;
4. Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi sistem ganda.

Gedung Apartemen One East Residences Surabaya menggunakan sistem ganda sebagai sistem utama konstruksinya, yang selanjutnya akan dilakukan evaluasi pada tugas akhir ini.

2.3.5 Sistem Struktur Gedung Kolom Kantilever

Sistem yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral.

2.3.6 Sistem Interaksi Dinding Geser Dengan Rangka

2.3.7 Subsistem Tunggal

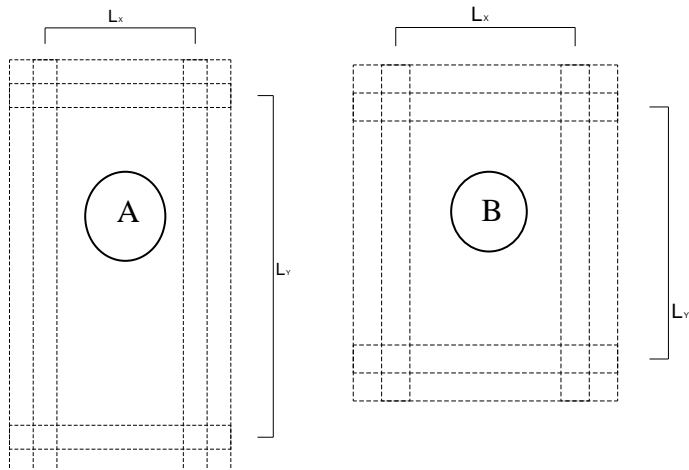
Subsistem struktur bidang yang membentuk struktur gedung secara keseluruhan.

2.4 Elemen Struktur

Pada struktur gedung pada umumnya, terdapat beberapa elemen struktur yang akan memikul beban beban layan. Elemen elemen tersebut bekerja secara estafet dalam mendistribusikan beban dari *upper structure* (struktur atas) menuju ke *lower structure* (struktur bawah). Elemen struktur yang termasuk ke dalam struktur atas umumnya adalah Balok, Pelat, dan Kolom. Sedangkan struktur bawah umumnya adalah pondasi.

2.4.1 Pelat Lantai

Pelat lantai adalah bagian dari elemen struktur yang berfungsi sebagai tempat berpijak. Pelat secara langsung menerima beban yang bekerja terutama beban mati dan beban hidup yang akan bekerja pada sebuah struktur. Pelat lantai ini didukung oleh elemen struktur balok yang tertumpu pada kolom, pelat lantai ini harus bersifat kaku, rata, dan lurus sehingga terasa mantap saat berpijak. Berdasarkan tipe tulangannya, pelat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu pelat satu arah dan pelat 2 arah.



Gambar 2. 1 pelat satu arah (A), pelat dua arah (B)

SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.2, penentuan dimensi pelat dua arah tanpa balok interior yang membentang diantara tumpuan dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek (L_y / L_x) tidak lebih dari 2. Jika perbandingan antara sisi panjang (L_y) dan sisi pendek (L_x) lebih dari 2, maka selanjutnya pelat dikategorikan sebagai pelat satu arah.

2.4.2 Balok

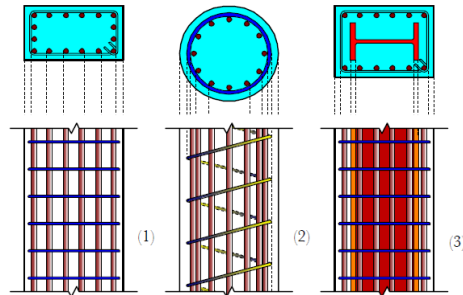
Balok merupakan elemen struktur yang berguna untuk menyangga pelat lantai yang berada di atasnya. Fungsi utama balok adalah menyalurkan beban yang diterima oleh pelat menuju kolom. Balok mempunyai karakteristik utama yaitu lentur. Dengan karakteristik tersebut balok merupakan elemen yang dapat diandalkan untuk menangani gaya geser serta momen lentur yang terjadi. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a), dimensi tebal (h) dari balok dapat ditentukan melalui panjang bentangnya. Sedangkan untuk lebar dari elemen balok diambil nilai $\frac{2}{3} h$.

2.4.3 Kolom

Kolom merupakan elemen struktur yang terpasang secara vertikal yang berfungsi untuk menerima beban dari balok yang kemudian disalurkan menuju ke pondasi. Kolom merupakan salah satu elemen penting pada suatu struktur bangunan, sehingga keruntuhan pada kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (collapse) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (total collapse) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996). Menurut ukurannya, kolom dibedakan menjadi 3 macam, yaitu;

1. Blok beton yang mengalami tekanan (*short compression concrete block or pedestal*) $l/d < 3.0$
2. Kolom beton pendek (*short reinforced concrete column*) umumnya pada jenis kolom ini, keruntuhan disebabkan oleh bahan.
3. Kolom beton langsing (*slender reinforced concrete column*) umumnya pada jenis kolom ini, keruntuhan oleh tekuk (*buckling*)

Sedangkan menurut cara pembesiannya, Wang (1986) dan Ferguson (1986) membagi kolom menjadi 3 tipe, yaitu Kolom sengkang ikat (*tied column*), kolom spiral (*spirally reinforced column*), dan kolom komposit (*composite column*).



Gambar 2. 2 Kolom Ikat (1), Kolom Spiral (2), Kolom Komposit (3) menurut Wang & Ferguson, 1986

SK SNI T-15-1991-03 mendefinisikan kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil.

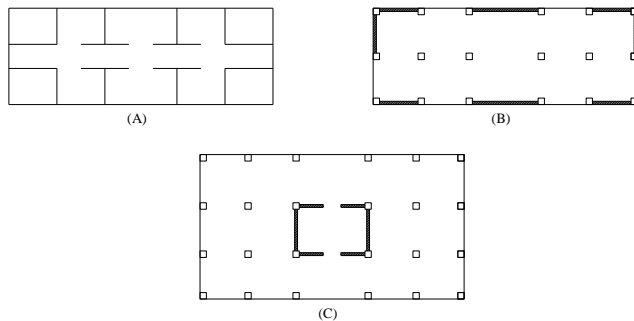
2.5 Dinding Geser (*Shear Wall*)

Gedung tinggi tahan gempa umumnya menggunakan elemen elemen seperti dinding struktural dalam menahan kombinasi geser, momen dan aksial akibat gaya gempa, dengan adanya dinding struktural tersebut sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding struktural tersebut.

Dinding struktural pada bangunan berbentuk rangka (*Frame Building*) harus dirancang agar mampu menerima beban gempa yang terjadi terutama dalam hal mereduksi simpangan antar lantai pada gedung-gedung tinggi. Dinding struktural ini biasa disebut dengan dinding geser. Dinding geser (*Shear Wall*) merupakan salah satu bagian dari konstruksi gedung tinggi yang bekerja sebagai pengaku dan penguat gedung saat beban gempa terjadi.

Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. *Bearing Walls*, adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar gaya gravitasi, umumnya terdapat di gedung gedung tinggi seperti apartemen dan hotel yang memiliki denah per lantai tipikal, karena dapat diterapkan sebagai tembok partisi.
2. *Frame Walls*, adalah dinding geser yang menerima beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang, tembok tembok ini dibangun berdasarkan baris dan kolom.
3. *Core Wall*, adalah dinding geser yang berada pada pusat atau inti dari sebuah gedung, umumnya diisi dengan tangga darurat ataupun poros lift. *Core Wall* dianggap sebagai pilihan dinding geser paling ekonomis saat perencanaan gedung tinggi karena dapat berfungsi ganda



Gambar 2.3 Bearing Walls (A), Frame Walls (B), Core Wall (C)

Dinding geser harus direncanakan untuk mampu menahan beban lateral gempa, karena apabila dinding geser runtuh karena tidak mampu menahan gaya yang terjadi, maka seluruh struktur bangunan akan runtuh karena tidak ada lagi yang mampu menahan beban lateral. Oleh karena itu, berdasarkan SNI

03-2847-2013 pasal 14.5.3.1, tebal minimum dinding geser (t_d) tidak boleh kurang dari 100mm.

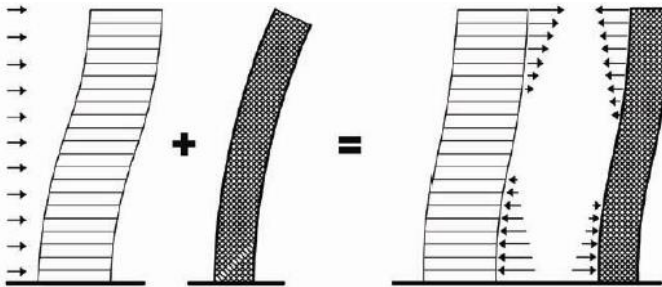
Dalam pelaksanaannya, dinding geser selalu dihubungkan dengan system rangka pemikul momen. Dinding geser yang umum digunakan pada konstruksi gedung tinggi adalah dinding geser kantilever, dinding geser berangkai, dan *dual-system* yang memadukan antara system rangka pemikul momen dan dinding geser. Kerja sama antara 2 sistem struktur ini bertujuan untuk memadukan sifat dan perilaku struktur yang berbeda untuk memperoleh desain struktur yang lebih ekonomis. Kerja sama ini dapat dibedakan menjadi 3 kategori menurut SNI 03-1726-2012 pasal 3.49-52, yaitu:

1. Sistem Ganda (*Dual-System*), yaitu sistem struktur yang merupakan gabungan dari sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser atau bresing. Rangka pemikul momen sekurang-kurangnya mampu menahan 25% dari gaya lateral dan sisanya ditahan oleh dinding geser. Nilai koefisien modifikasi respons (R) yang direkomendasikan untuk sistem ganda dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah 7.
2. Sistem interaksi dinding geser dan rangka, yaitu sistem struktur yang merupakan gabungan dari sistem rangka beton bertulang dan dinding geser biasa. Nilai koefisien modifikasi respons (R) Yang direkomendasikan untuk sistem interaksi dinding geser dan rangka adalah 4,5.
3. Sistem rangka gedung, yaitu sistem struktur yang memiliki rangka ruang gravitasi secara lengkap. Pada sistem ini, gaya lateral akibat gempa yang terjadi dipikul oleh dinding geser atau rangka bresing.

2.5.1 Perilaku Struktur Dinding Geser dan Rangka Pemikul Momen

Dalam perencanaan gedung tinggi, sistem ganda merupakan salah satu kriteria perencanaan gedung tahan gempa yang paling umum dilaksanakan. Penggunaan dinding geser

sebagai elemen kekuatan serta kekakuan dari gedung tinggi dinilai memberikan faktor ekonomis yang lebih baik, mengingat semakin tinggi gedung maka semakin rentan terhadap gaya gempa yang terjadi, sehingga untuk menahan gaya tersebut dimensi elemen balok-kolom akan semakin besar.



Gambar 2. 4 Interaksi Pada Sistem Rangka Kaku Dan Shear Wall Akibat Beban Lateral Gempa

Gedung yang diperkaku dengan dinding geser dianggap lebih efektif daripada gedung dengan sistem rangka biasa, hal ini berdasarkan fakta bahwa dinding geser lebih kaku daripada elemen rangka biasa dalam menerima dan menahan beban lateral akibat angin ataupun beban gempa, dan disaat bersamaan dapat mereduksi simpangan antar lantai.

Struktur kombinasi antara rangka pemikul momen dan juga dinding geser ini dihubungkan secara kaku (*rigid*) antar elemen yang memungkinkan terjadinya interaksi secara menyeluruh dalam menahan gaya gravitasi maupun lateral.

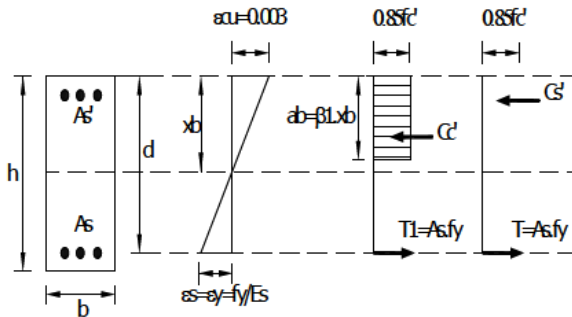
2.6 Tinjauan Nominal Elemen Struktur

Dalam melakukan evaluasi kekuatan struktur gedung, data yang diperoleh merupakan data eksisting yang merupakan data *As Built Drawing* dimana komponen tulangan sudah terpasang sesuai dengan data gambar yang ada. Kemudian, dalam melakukan peninjauan terhadap kekuatan struktur gedung

meliputi elemen balok, kolom serta *shear wall*, dilakukan perhitungan terhadap kuat nominal elemen struktur, meliputi Momen Nominal (M_n), Geser Nominal (V_n), dan Aksial Nominal (P_n).

2.6.1 Momen Nominal

Pada elemen struktur balok, karakteristik utamanya adalah kemampuannya dalam menahan lentur yang terjadi. Pada saat proses desain tulangan pada komponen balok, ada 2 metode yang umum digunakan, yaitu metode tunggal dan metode tulangan rangkap. Karena fakta yang terjadi di lapangan saat proses pemasangan adalah tulangan selalu terpasang rangkap. Maka pada dasarnya momen lentur yang terjadi tidak sepenuhnya dipikul oleh tulangan tarik, akan tetapi tulangan tekan juga ikut memikul gaya dalam yang terjadi.



Gambar 2. 5 Distribusi Tegangan

Didalam perencanaan maupun analisa kekuatan tulangan rangkap pada penampang beton. penampang tekan umumnya dibuat sekecil mungkin dengan cara membuat posisi garis netral yang letaknya lebih mendekati pada tulangan tekan atau A_s' dengan tetap memperhatikan komposisi tulangan tarik dan tekan.

Perhitungan momen nominal elemen dilakukan untuk mengetahui besarnya tahanan kekuatan nominal elemen struktur

terhadap momen yang akan bekerja (*ultimit*), ditentukan dengan prosedur berikut:

1. Penentuan harga x , sebagai posisi garis netral

Penentuan dari besarnya nilai X ini akan mempengaruhi seberapa besar kontribusi dari tulangan tekan dalam memikul momen tarik. Umumnya, besarnya nilai X diambil tidak lebih besar dari $0,75 X_b$. sedangkan X_b dapat ditentukan melalui persamaan berikut;

$$x_b = \frac{600}{600+f_y} \cdot d \quad (2-1)$$

2. Kontrol tulangan tekan leleh

Setelah menentukan harga x , selanjutnya dilakukan kontrol terhadap tulangan tekan dalam memikul besarnya momen yang terjadi. Penentuan leleh tidaknya tulangan tekan ditentukan melalui persamaan berikut;

$$f'_s = \left(1 - \frac{d''}{x}\right) \cdot 600 \geq f_y \quad (2-2)$$

$$f'_s = \left(1 - \frac{d''}{x}\right) \cdot 600 < f_y \quad (2-3)$$

Dimana;

f'_s = kuat leleh tulangan tekan

d'' = tinggi efektif penampang tekan

Pada persamaan (2-x) jika hasil f'_s lebih besar dari besarnya nilai f_y maka tulangan tekan dianggap leleh dalam menopang momen tarik. Dalam arti dimana tulangan tekan berkontribusi penuh saat momen tarik terjadi. Sebaliknya, ketika nilai f'_s tidak melebihi nilai dari f_y maka tulangan tekan tidak leleh, sehingga tidak memberikan kontribusi penuh terhadap momen tarik yang terjadi.

3. Kontrol kekuatan

Kontrol kekuatan penampang dilakukan untuk mengetahui apakah kapasitas tulangan terpasang baik tarik maupun tekan sudah memiliki komposisi yang tepat dalam

menerima momen yang terjadi. Besarnya momen nominal dirumuskan sebagai berikut

$$M_n = \phi \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d' - d'') \quad (2-4)$$

$$M_n = \phi \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s (d' - d'') \quad (2-5)$$

Dimana;

M_n	: Momen nominal
b_w	: Lebar penampang beton
A_s	: Luas tulangan eksisting
f'_c	: kuat tekan beton
F_y	: Tegangan leleh besi
d	: Tinggi efektif
a	: Tinggi bidang distribusi tegangan menurut Whitney

Persamaan (2-x) digunakan untuk menghitung momen nominal ketika tulangan tekan leleh, sebaliknya pada persamaan (2-x) digunakan ketika tulangan tekan belum mencapai kondisi leleh.

Bidang distribusi tegangan whitney (a) dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip keseimbangan dengan memisalkan tulangan mencapai titik leleh sebelum hancurnya beton, maka didapatkan;

$$a = \frac{(A_s x f_y - A'_s x f'_s)}{0,85 x f'_c x b} \quad (2-6)$$

Dimana;

f'_c	: Kuat tekan beton
B	: Lebar elemen penampang

2.6.2 Geser Nominal

Salah satu jenis keruntuhan yang mungkin terjadi pada elemen struktur adalah keruntuhan geser. Kekuatan geser nominal pada penampang yang bertulangan geser V_n , adalah jumlah dari kekuatan geser beton (V_c) dan kekuatan geser sengkang (V_s), dirumuskan sebagai berikut;

$$V_n = V_c + V_s \quad (2-7)$$

Dimana;

- V_n : Kuat Geser Nominal
 V_c : Kuat Geser Penampang Beton
 V_s : Kuat Geser Tulangan Sengkang

Masing masing dari V_c maupun V_s memiliki persamaan yang dirumuskan sebagai berikut;

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{F'_c} \cdot bw \cdot d \quad (2-8)$$

Dimana;

- F'_c : Kuat tekan beton
 bw : Lebar elemen penampang
 d : Tinggi efektif penampang

$\sqrt{F'_c}$ pada persamaan V_c diisyaratkan tidak boleh melebihi dari 8,3 Mpa. V_s didasarkan pada analogi dimana retak terjadi bersudut $\pm 45^\circ$, merambat secara menerus dari tulangan tarik memanjang menuju ke daerah penampang tekan beton, besarnya V_s dapat dirumuskan sebagai berikut;

$$V_s = n \cdot A_v \cdot f_y \quad (2-9)$$

Dimana;

- n : Jumlah Sengkang
 A_v : 2 As (Luas Tulangan Sengkang)
 f_y : Tegangan leleh baja

Pada komponen yang terkena gempa, seperti pada balok induk analisa geser pada balok diperoleh dari hasil analisa struktur atau dari hasil peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka joints di setiap ujung komponen struktur.

Dengan mengasumsikan sendi plastis terbentuk di ujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur balok mencapai $1,25f_y$, kapasitas momen ujung balok dihitung berdasarkan

$$a_{pr} = \frac{1,25A_s f_y}{0,85f_c' b} \quad (2-10)$$

Sehingga nilai kapasitas momen ujung pada balok (Probable Moment Capacities, M_{pr}) dirumuskan sebagai berikut,

$$M_{pr} = 1,25A_s f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \quad (2-11)$$

Selanjutnya, reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok akibat gaya gravitasi yang bekerja pada struktur juga akan diperhitungkan, dengan perumusan sebagai berikut,

$$V_g = \frac{W_u l_n}{2} \quad (2-12)$$

Reaksi gaya geser akibat sendi plastis di ujung-ujung balok selanjutnya dihitung berdasarkan perumusan berikut,

$$V_{sway} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \quad (2-13)$$

Untuk komponen struktur yang dibebani aksial seperti kolom, perumusan V_c adalah sebagai berikut

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{F'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (2-14)$$

Dimana untuk nilai N_u/A_g harus dalam bentuk Mpa. Nilai λ harus sesuai dengan pasal 8.6.1 SNI 03-2847-2013.

2.6.3 Torsi Nominal

Dimensi penampang untuk menahan torsi terfaktor T_u diatur sesuai dengan SNI 2847-2013, pasal 11.5.1 (a) dan 11.5.3.1 (a), sebagai berikut:

- a) Untuk komponen struktur non-prategang, besarnya torsi terfaktor T_u harus kurang dari persamaan,

$$T_u = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (2-15)$$

- b) Untuk komponen non-prategang dengan penampang solid, kekuatan momen torsi pada penampang harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right) \quad (2-16)$$

2.6.4 Aksial Nominal

Aksial adalah beban yang terjadi pada struktur yang menumpu beban secara sejajar dengan sumbu utamanya. Beban aksial sering kita jumpai pada saat melakukan perencanaan kolom, karena kolom merupakan salah satu elemen yang menumpu beban sejajar dengan sumbu utamanya. Aksial Nominal pada elemen kolom dapat ditentukan melalui persamaan berikut;

$$\phi P_n = 0,8 \phi [0,85 f_c (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \quad (2-17)$$

Untuk kolom penampang persegi

Dimana;

- P_n : Aksial nominal maksimum
- ϕ : 0.65 untuk penampang persegi
- A_g : luas kotor penampang kolom
- A_{st} : luas tulangan
- f_y : tegangan leleh baja

Sedangkan untuk kolom penampang spiral, perumusan ditentukan sebagai berikut;

$$\phi P_n = 0,85 \phi [0,85 f_c (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \quad (2-18)$$

Dimana;

- ϕ : 0.7 untuk penampang spiral

2.7 Tinjauan Struktur Terhadap Gempa

Dalam hal evaluasi perencanaan struktur khususnya di wilayah gempa tinggi, ada beberapa kriteria yang dapat digunakan dalam melakukan analisa perhitungan struktur tahan gempa. Menurut SNI 03-1726-2012, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %.

2.7.1 Faktor Keutamaan Gempa

Fungsi pada gedung merupakan penentu faktor keutamaan gempa sesuai kategori resiko pada peraturan. Kategori resiko untuk gedung apartemen atau rumah susun masuk dalam kategori resiko II dengan faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,0.

Tabel 2. 1 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Tabel 2. 2 Kategori Resiko

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

2.7.2 Kelas Situs

Menurut SNI 03-1726-2012, dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan besaran gempa puncak

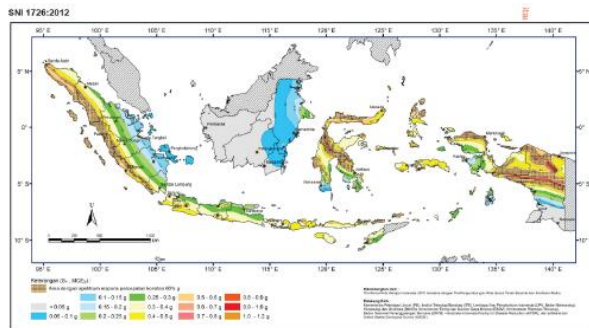
dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diidentifikasi berdasarkan lapisan tanah 30 m paling atas.

Tabel 2. 3 Kelas Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_s (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

2.7.3 Respon Spektrum

Daerah dengan wilayah gempa tinggi di Indonesia menurut SNI 03-1726-2012 ditunjukkan melalui respons spektral percepatan gempa terpetakan untuk periode 0,2 detik dan periode 0.1 detik pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 6 Parameter spektral percepatan gempa untuk perioda pendek 0,2 detik (SS)

Tabel 2. 4 Koefisien Situs F_a dan F_v untuk periode pendek 0.2 detik dan 1 detik

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_E) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				
Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_E terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Penentuan kelas situs didapat berdasarkan data tanah daerah yang dituju. Menurut data bor-log yang ada, Serui memiliki kelas situs SD (Tanah Sedang) dengan nilai N_{SPT} 26,87. Dengan mengetahui nilai F_a dan F_v , maka perhitungan S_{DS} dan S_{D1} dapat dilakukan.

Setelah dilakukan analisa perbandingan terhadap data tanah kota Surabaya dan data tanah Serui, didapat hasil S_{DS} dan S_{D1} dari kota Surabaya masing-masing adalah 0,68g dan 0,5g. Sedangkan untuk kota Serui, didapat hasil S_{DS} dan S_{D1} masing masing adalah 1 g dan 0.67g. Hal ini membuktikan bahwa Serui memiliki nilai Parameter percepatan spektra desain lebih tinggi dari Surabaya.

2.7.5 Kategori Desain Seismik

Setelah didapatkan hasil perhitungan mengenai S_{DS} dan S_{D1} selanjutnya adalah penentuan kategori desain seismik. Menurut SNI 03-1726-2012 kategori desain seismik dibagi berdasarkan tabel 2.5 dan 2.6 dibawah ini

Tabel 2. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan SDS

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 2. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan SDI

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Tabel 2.7 Sistem Penahan Gaya Seismik

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e	
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2%	2%	2%	TB	TB	10	TB	TB	
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2%	5	TB	TB	48	48	30	
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30	
C. Sistem rangka pemikul momen									
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB	
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5%	TB	TB	48	30	TI	
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4%	3	4	TB	TB	10 ^f	TI ^f	TI ^f	
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3%	3	3	TB	TB	TI ^f	TI ^f	TI ^f	
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB	
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI	
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI	
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TI	TB	TB	TB	
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI	
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5%	48	48	30	TI	TI	
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI	
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3%	3 ^g	3%	10	10	10	10	10	
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan									
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2%	4	TB	TB	TB	TB	TB	
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2%	5%	TB	TB	TB	TB	TB	
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2%	5%	TB	TB	TB	TB	TB	
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2%	5	TB	TB	TI	TI	TI	

Penentuan kategori desain seismik didapat dengan menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1} sehingga didapat nilai kategori resiko yang selanjutnya digunakan dalam penentuan sistem penahan gaya seismik.

2.7.6 Kontrol Dinamis Struktur

Hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 03-1726-2012 untuk menentukan kelayakan struktur tersebut, adapun hal hal yang harus dikontrol meliputi:

1. Kontrol Periode Fundamental Gedung

Menurut SNI 03-1726-2012m, periode pendekatan fundamental (T_a) dalam detik, harus ditentukan melalui persamaan berikut;

$$T_a = C_t x h_n^x \quad (2-23)$$

Dimana:

h_n : Ketinggian Struktur (m),

koefisien nilai C_t dan x ditentukan melalui tabel berikut

Tabel 2.8 Koefisien untuk batas atas perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_t
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 2.9 Nilai Parameter perioda pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

2. Kontrol Simpangan Antar Struktur

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur, seperti dinding, plafon, dan lain sebagainya. Menurut SNI 03-1726-2012, Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) harus ditentukan melalui persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_D x \delta_{xe}}{I_e} \quad (2-24)$$

Dimana:

C_D : Faktor Amplifikasi Defleksi, Tabel 9 SNI 03-1726-2012

δ_{xe} : Defleksi pada lokasi yang diisyaratkan

I_e : Faktor keutamaan gempa, sesuai pasal 4.1.2 SNI 03-1726-2012

Tabel 2.10 Simpangan Ijin Antar Lantai

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

^a h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x .

^b Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar lantai tingkat ijin harus sesuai dengan persyaratan **Pasal 7.12.1.1**.

^c Tidak boleh ada batasan simpangan antar lantai untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dari **Pasal 7.12.3** tidak diabaikan.

^d Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen diantara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

3. Kontrol Gaya Geser Dasar Gempa

Bila hasil perhitungan periode fundamental melebihi $(C_u)(T_a)$, maka $(C_u)(T_a)$ harus digunakan sebagai pengganti dari T dalam arah itu. Kombinasi respon untuk geser dasar ragam (V_i) lebih kecil 85% dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0,85V/V_i$ control gaya geser dinamis

digunakan untuk meninjau apakah gaya gempa yang dimasukkan menggunakan respon spectrum sudah sesuai dengan ketentuan dalam SNI 03-1726-2012. Nilai C_s dapat ditentukan dengan persamaan;

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2-25)$$

Namun nilai C_s tidak perlu melebihi nilai dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2-26)$$

Harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I \geq 0,01 \quad (2-27)$$

4. Kontrol Sistem-Ganda

Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen khusus harus mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari gaya gempa desain, tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser, dengan distribusi proporsional terhadap kekakuannya.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

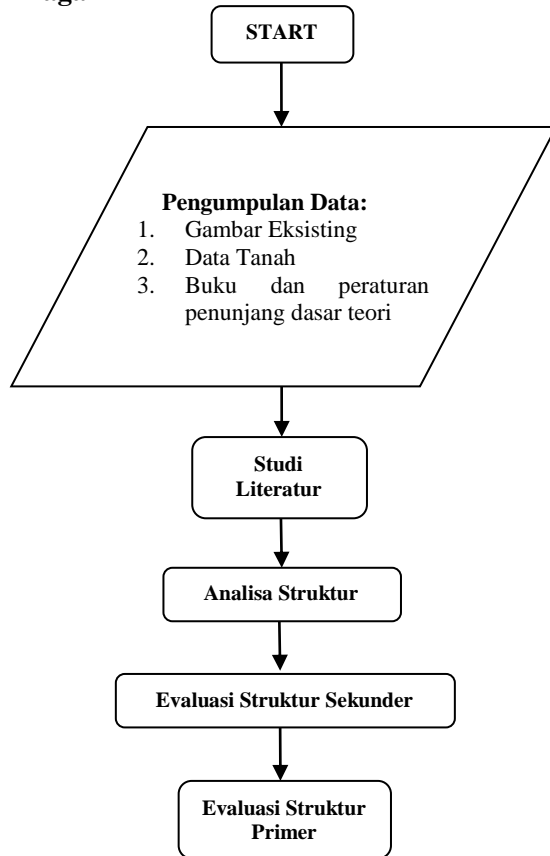
BAB III

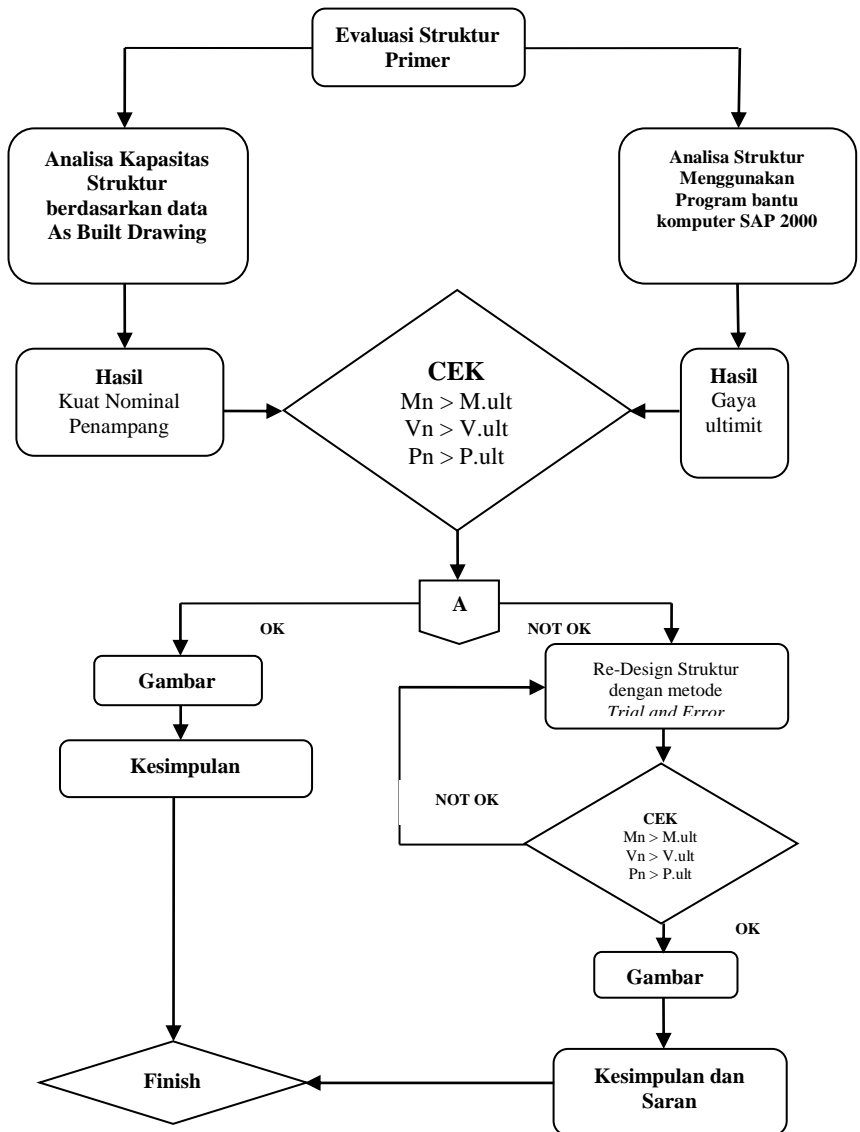
METODOLOGI

3.1 Umum

Sebelum mengerjakan tugas akhir ini, maka perlu disusun langkah-langkah pengerjaan sesuai dengan uraian kegiatan yang akan dilakukan.

3.2 Bagan Alir





Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.3 Pengumpulan Data

Data bangunan yang akan digunakan dalam evaluasi gedung apartemen One East Residences Surabaya:

Data Asli Bangunan:

Nama Proyek	: Apartemen One East Residences Surabaya
Jenis Bangunan	: Struktur Beton Bertulang
Lokasi Bangunan	: Jl. Dr. Ir. H. Soekarno 151, Surabaya
Jumlah Lantai	: 33 Lantai, 3 lantai basement
Tinggi Bangunan	: 124,9 m

Akan di evaluasi menjadi:

Nama Proyek	: Apartemen One East Residences, Serui
Jenis Bangunan	: Struktur Beton Bertulang
Lokasi Bangunan	: Serui, Kepulauan Yapen
Mutu Beton (f_c')	: 35/40/45 Mpa
Mutu Baja (f_y)	: 240/400/500 Mpa
Data Tanah	: Terlampir

3.4 Studi Literatur

Studi Literatur yang dilakukan menggunakan beberapa buku pustaka mengenai perhitungan struktur gedung secara umum, meliputi momen, geser dan aksial. Studi literatur dilakukan untuk memilih dasar dasar teori dalam pelaksanaan tugas akhir. Untuk judul-judul referensi yang dipakai dapat dilihat pada daftar pustaka.

3.5 Kriteria Evaluasi Struktur

Penentuan kriteria dalam melakukan evaluasi struktur harus memenuhi persyaratan sesuai dengan kriteria saat melakukan perencanaan. Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

1. Kuat Kapasitas

Sesuai dengan persyaratan pada SNI 2847-2013, Pasal 9, yaitu ketika melakukan perhitungan perencanaan

elemen struktur, kemampuan suatu struktur harus didesain paling sedikit sama dengan kekuatan perlu yang dihitung untuk beban dan gaya berfaktor dalam kombinasi yang ditetapkan pada standar ini. Kuat kapasitas pada penampang harus lebih besar daripada kuat perlu yang dibutuhkan. Oleh karena gedung One East Residences Surabaya akan di evaluasi di tempat berbeda dengan desain awal perencanaan, dimana perbedaan terletak pada pengaruh beban gempa yang lebih tinggi, maka diharapkan hasil evaluasi ini dapat memberikan hasil dan kesimpulan yang relevan baik dari segi saran maupun usulan mengenai modifikasi struktur yang optimum (jika dibutuhkan).

2. Stabilitas

Persyaratan kedua mengenai desain elemen struktur selain dari segi kuat kapasitas adalah dari segi kelayakan elemen struktur dalam menerima pengaruh gaya yang terjadi. Suatu struktur harus memiliki nilai lendutan, simpangan dan retak yang masih berada dalam zona aman. Pada evaluasi struktur gedung One East Residences ini akan di analisa dari kemampuan dan respon struktur secara keseluruhan dalam menerima beban dinamis akibat gempa. Stabilitas struktur dalam menerima beban dinamis akibat beban gempa yang lebih tinggi harus ditinjau meliputi simpangan antar lantai, periode getar fundamental struktur dan beberapa persyaratan lainnya sesuai dengan peraturan yang ada.

3.6 Pembebanan

3.6.1 Beban

- Beton Bertulang $= 2400 \text{ Kg/m}^3$
 $= 23,52 \text{ KN/m}^3$
- Beban Mati *Super-Imposed*
 - o Beban Keramik $= 30 \text{ Kg/m}^2$
 - o Beban Spesi $= 5 \text{ Kg/m}^2$
 - o Ducting Mekanikal $= 19 \text{ Kg/m}^2$

- Plafond & Penggantung = 8 Kg/m²
- Lapisan Waterproof = 3 Kg/m²
- Beban Plumbing = 8 Kg/m²

Semua spesifikasi beban mati *Super-Imposed* akan dijelaskan pada proses pembebanan analisa struktur sesuai dengan spesifikasi pada brosur.

- **Beban Hidup**

Beban hidup akan diambil sesuai dengan SNI 1727-2013 mengenai pembebanan untuk gedung dan non-gedung.

- Beban Hidup Hunian = 1,92 KN/m²
= 195,78 kg/m²
- Beban Hidup Lobby = 4,79 KN/m²
= 488.44 Kg/m²
- Beban Hidup Parkir = 1,92 KN/m²
- Beban Partisi = 0,72 KN/m²

- **Beban Angin**

SNI 1727-2013 mengisyaratkan dalam pembebanan angin untuk gedung sesuai dengan prosedur pada tabel 27.2-1, diantaranya:

- Penentuan kategori resiko
- Penentuan kecepatan angin dasar
- Penentuan parameter beban angin
- Klasifikasi ketertutupan
- Koefisien tekanan internal
- Penentuan koefisien eksposur tekanan velositas

3.6.2 Kombinasi Pembebanan

Pembebanan perencanaan ini dihitung berdasarkan ketentuan pada SNI 1727-2013 pasal 2.3 yang mengatur kombinasi mengenai pembebanan,

1. Kombinasi Ultimate

- $U = 1,4D$
- $U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$

- $U = 1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (Lr \text{ atau } 0,5W)$
- $U = 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $U = 1,2D + 1,0E + L + 0,2S$
- $U = 0,9D + 1,0W$
- $U = 0,9D + 1,0E$

2. Kombinasi Layan

- $U = D$
- $U = D + L$
- $U = D + Lr \text{ atau } S \text{ atau } R$
- $U = D + 0,75L + 0,75 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $U = D + (0,6W \text{ atau } 0,7E)$
- $U = D + 0,75L + 0,75(0,6W) + 0,75 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $U = D + 0,75L + 0,75(0,7E) + 0,75S$
- $U = 0,6D + 0,6W$
- $U = 0,6D + 0,7E$

Dimana,

D = beban mati

L = beban hidup

E = beban gempa

W = beban angin

Lr = beban hidup atap

R = beban hujan

S = beban salju

3.7 Evaluasi Perencanaan Struktur Sekunder

Struktur sekunder dianggap sebagai penyalur beban yang ada menuju struktur utama. Evaluasi struktur sekunder meliputi:

1. Evaluasi Struktur pelat

- Evaluasi kapasitas penampang pelat

Pelat merupakan elemen struktur pertama yang berfungsi menerima beban pertama kali sebelum ditransferkan menuju balok. pelat lantai ini harus bersifat kaku, rata, dan lurus sehingga terasa mantap saat berpijak. Terdapat beberapa jenis pelat eksisting

pada gedung One East Residences, beberapa diantaranya memiliki konfigurasi tulangan rangkap, sehingga metode perhitungan kapasitas lentur akan dianalisa sesuai metode tulangan rangkap.

- Cek konfigurasi tulangan susut
Pada pelat satu arah memiliki tulangan susut pada bentang panjang pelat, cek syarat minimum tulangan susut ditentukan berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1
- Cek syarat jarak antar tulangan utama maupun susut sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1
- Cek terhadap kontrol retak sesuai SNI 2847-2013 Pasal 10.6.4

$$\text{Syarat: } s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c ,$$

$$\text{Dan tidak melebihi dari nilai } 300 \left(\frac{280}{f_y} \right)$$

- Kontrol ketebalan pelat terhadap geser
Kontrol terhadap geser pada pelat diatur berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 8.3.3

2. Evaluasi Tangga

Perhitungan. Kemiringan dan Perbandingan injakkan harus memenuhi syarat sebagai berikut;

$$25^0 < \alpha < 40^0$$

$$60 < (2t + i) \leq 65 \quad (3-1)$$

Dimana;

α : Sudut kemiringan tangga

t : tinggi tanjakan

i : lebar injakan

Karena tangga merupakan elemen struktur yang juga sama seperti pelat, maka tinjauan evaluasi pada tangga akan disesuaikan sesuai prosedur evaluasi pada pelat.

3. Evaluasi Balok Sekunder

- Kapasitas lentur penampang

Karena balok merupakan elemen yang memiliki karakteristik terhadap lentur, maka analisa evaluasi terhadap lentur akan dilakukan sesuai dengan kriteria evaluasi mengenai kuat kapasitas penampang

$$\phi Mn \geq Mn \quad (3-2)$$

- Cek batas penulangan
SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.1 mengisyaratkan untuk konfigurasi jumlah penulangan tidak boleh kurang dari $1,4b_w d/f_y$ dan $\frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} b_w d$

- Cek terhadap kontrol retak
- Cek terhadap kemampuan geser

Desain tulangan geser dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan karakteristiknya dalam menerima gaya geser, kategori terbagi menjadi;

- Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5\phi V_c \quad (3-3)$$

Dimana tulangan geser tidak diperlukan

- Kondisi 2

$$0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \quad (3-4)$$

Tulangan geser minimum

- Kondisi 3

$$\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{smin}) \quad (3-5)$$

- Kondisi 4

$$\phi(V_c + V_{smin}) \leq V_u \leq \phi(V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}b_w d) \quad (3-6)$$

- Kondisi 5

$$\phi(V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}b_w d) \leq V_u \leq \phi(V_c + \frac{2}{3}\sqrt{f_c'}b_w d) \quad (3-7)$$

- Kondisi 6

$$V_u \geq \phi(V_c + \frac{2}{3}\sqrt{f_c'}b_w d) \quad (3-8)$$

Evaluasi terhadap geser akan dianalisa sesuai dengan kondisi penampang pada persyaratan mengenai desain tulangan geser.

3.8 Analisa Gaya Dalam dan Permodelan Struktur

Analisa struktur menggunakan program bantu SAP 2000. Data yang didapat dari SAP 2000 berupaya reaksi dan gaya dalam yang terdapat pada rangka utama. Pembebanan menggunakan beban gempa dinamik agar memenuhi ketentuan SNI 03-1726-2012.

3.9 Evaluasi Perhitungan Struktur Utama

Perhitungan struktur utama balok, kolom dan shear wall dilakukan setelah mendapatkan analisa gaya menggunakan program SAP 2000 sesuai dengan kriteria gempa wilayah yang dituju. Evaluasi desain yang dilakukan berupa pengecekan terhadap kontrol geser, kontrol lentur, dan aksial.

1. Evaluasi Struktur Balok

- Evaluasi yang dilakukan terhadap komponen balok meliputi kontrol desain, kontrol momen dan kontrol geser. Kontrol momen dihitung langsung dengan menggunakan data eksisiting yang ada sehingga diperoleh nilai kuat nominal penampang.

$$\phi Mn \geq Mn \quad (3-9)$$

- Cek batas penulangan
SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.1 mengisyaratkan untuk konfigurasi jumlah penulangan tidak boleh kurang dari $1,4b_wd/f_y$ dan $\frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} b_wd$

- Cek terhadap kontrol retak
- Cek terhadap Geser
Geser pada balok induk umumnya berbeda dengan geser pada balok anak, hal ini dikarenakan adanya beban gempa pada balok induk Reaksi gaya geser akibat sendi plastis di ujung-ujung balok sdihitung berdasarkan perumusan berikut

$$V_{sway} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \quad (3-10)$$

- Cek terhadap torsi

Evaluasi terhadap torsi diatur pada SNI 2847-2013, pasal 11.5.1(a) dan 11.5.3.1 (a)

2. Evaluasi Struktur Kolom

- Evaluasi kapasitas kolom

Pada struktur kolom, evaluasi kapasitas akan ditinjau dari aksial, momen serta geser. Untuk kapasitas aksial dan momen akan dianalisa menggunakan program bantu PCACOL sehingga dapat mengetahui kapasitas kolom dalam menerima aksial beserta momen yang terjadi.

- Persyaratan *Strong Column Weak Beam*

Kekuatan kolom ϕM_n harus memenuhi

$$\sum M_c \geq 1,2 \sum M_g \quad (3-10)$$

Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 21.6.2.2

- Evaluasi terhadap Geser

Gaya geser desain yang digunakan untuk menentukan jarak dan luas tulangan transversal ditentukan dari nilai (i), tetapi tidak perlu lebih besar dari nilai (ii), dan harus melebihi nilai (iii) (MacGregor, 2009)

$$(i) \quad V_{sway1} = \frac{M_{prc,atas} + M_{prc,bawah}}{l_u}$$

$$(ii) \quad V_{sway2} = \frac{\sum M_{prb,atas} DF_{atas} + \sum M_{prb,bawah} DF_{bawah}}{l_u}$$

$$(iii) \quad V_u \text{ hasil analisis struktur}$$

3. Evaluasi Struktur *Shear Wall*

- Evaluasi Kapasitas Dinding Geser

Analisis kekuatan dinding geser atau *Shear Wall* akan dilakukan dengan bantuan program bantu teknik sipil

seperti PCACOL dalam menentukan kuat nominal dari aksial dan lentur komponen struktur dinding geser.

- Kontrol ketebalan terhadap geser

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4, kuat geser nominal tiap dinding individual tidak boleh melebihi :

$$0,83 A_{cw} \sqrt{f'c} \quad (3-11)$$

- Kontrol Kuat Geser Dinding Struktural

Sesuai dengan SNI 2847:2013, Pasal 21.9.2.1 mengenai rasio tulangan minimum pada shearwall.

Nilai V_n berdasar SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1 kuat geser nominal dihitung sesuai persamaan berikut:

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'c} + \rho_t f_y) \quad (3-12)$$

SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4 membatasi kuat geser nominal maksimum dinding geser sebagai berikut:

$$V_{n\text{-maks}} = 0,83 \cdot A_{cw} \cdot \sqrt{f'c} \quad (3-13)$$

3.10 Gambar Output

Hasil analisa struktur sekunder dan struktur utama dituangkan dalam bentuk gambar teknik yang dapat menjelaskan hasil perhitungan. Gambar dikerjakan dengan menggunakan program bantu sipil AutoCAD meliputi:

1. Gambar Arsitektur
 - a. Gambar denah
 - b. Gambar tampak
2. Gambar Potongan
 - a. Potongan memanjang
 - b. Potongan melintang
3. Gambar Struktur Penulangan
 - a. Gambar penulangan tangga
 - b. Gambar penulangan balok
 - c. Gambar penulangan pelat
 - d. Gambar penulangan kolom
 - e. Gambar penulangan dinding geser.

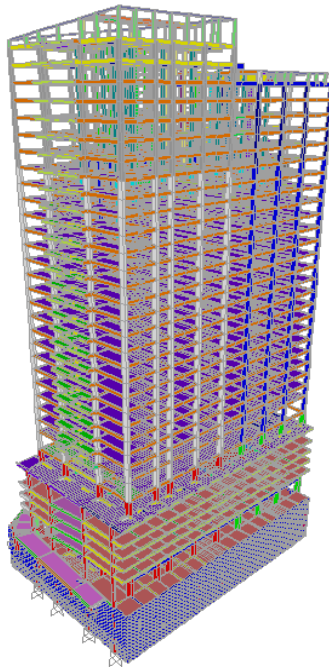
“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV

ANALISA STRUKTUR

4.1 Pembebanan dan Analisa Struktur

Sebelum melakukan analisis struktur menggunakan program bantu komputer seperti SAP2000, Etabs, dan lain sebagainya, perlu dilakukan perhitungan beban yang hasilnya nanti akan digunakan sebagai data input ke program tersebut. Beban-beban yang diinput merupakan beban yang bekerja pada gedung, meliputi beban hidup, beban mati, serta beban gempa.



Gambar 4. 1 Permodelan Struktur Pada SAP 2000

Data Gedung

H (± 0.00) = 124,9 mh. basement = 13,5 m

Lebar = 49,45 m ; Panjang = 65,55 m

$F_c = 35/40/45$ Mpa ; $f_y = 400/500$ Mpa

Tinggi antar lantai,

GR – P1 = 4,5 m

P1 – P3 Mezz = 3.2 m

Lantai 3 – 5 = 4 m

Lantai 5 - 6 = 5 m

Lantai 6 – Roof = 3,4 m

4.1.1 Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri dari elemen struktur dan beban mati tambahan. Berat sendiri dari elemen struktur (*Self Weight*) telah terinput secara otomatis ketika melakukan analisa struktur menggunakan program bantu SAP2000. Sedangkan untuk beban mati tambahan (*Super-Imposed Dead Load*) harus dihitung secara manual dengan rincian sebagai berikut;

a) Lantai Dasar – Lantai 30 (Hunian dan Lobby)

Untuk beban *super-imposed dead load*, akan digunakan sesuai dengan spesifikasi dalam brosur dengan rincian sebagai berikut:

Keramik yang digunakan pada One East Residences adalah keramik *Valentino Gress, Allure Cream* (60x60) cm

- Beban Keramik = 30 Kg/m²

Spesi menggunakan MU-420, dengan tebal 30 mm

- Beban Spesi = 5 Kg/m²

Beban Ducting dan Mekanikal diambil dari ASCE 7-2002 Tabel C3-1, (*Ceramics or Quarry tile on 25mm mortar*)

bed, Acoustical fiberboard, Mechanical Duct Allowance, Suspended Steel Channel System)

- Beban Ducting dan Mekanikal = 19 Kg/m²

Plafond dan penggantung, Jayaboard

- Beban Plafond dan Penggantung = 8 Kg/m²

Untuk Plumbing digunakan PIP Cellduct

- Beban Plumbing = 8 Kg/m²

Total Beban = 70 Kg/m²

b) Lantai Garage dan Parking Space

Spesi menggunakan MU-420, dengan tebal 30 mm

- Beban Spesi = 5 Kg/m²

Beban Ducting dan Mekanikal diambil dari ASCE 7-2002 Tabel C3-1, (*Ceramics or Quarry tile on 25mm mortar bed, Acoustical fiberboard, Mechanical Duct Allowance, Suspended Steel Channel System*)

- Beban Ducting dan Mekanikal = 19 Kg/m²

Plafond dan penggantung, Jayaboard

- Beban Plafond dan Penggantung = 8 Kg/m²

Untuk Plumbing digunakan PIP Cellduct

- Beban Plumbing = 8 Kg/m²

Total Beban: 35 kg/m²

c) Lantai Atap dan Mesin Elevator

Lapisan Waterproofing yang digunakan adalah SIKATOP 107 Seal. Digunakan 2 lapis dan dilindungi oleh spesi dengan tebal 2 - 3 cm

- Beban Waterproofing 2 lapis = 3 Kg/m²

Spesi menggunakan MU-420, dengan tebal 30 mm

- Beban Spesi = 5 Kg/m²

Beban Ducting dan Mekanikal diambil dari ASCE 7-2002 Tabel C3-1, (*Ceramics or Quarry tile on 25mm mortar bed, Acoustical fiberboard, Mechanical Duct Allowance, Suspended Steel Channel System*)

- Beban Ducting dan Mekanikal = 19 Kg/m²

Plafond dan penggantung, Jayaboard

- Beban Plafond dan Penggantung $= 8 \text{ Kg/m}^2$

Untuk Plumbing digunakan PIP Cellduct

- Beban Plumbing $= 8 \text{ Kg/m}^2$

d) Beban Dinding dan Dinding Kaca

Dinding yang digunakan adalah dari bata ringan, citicon dengan spesifikasi

$$t = 150 \text{ mm} ; L = 600 \text{ mm} ; BJ = 600 \text{ kg/m}^3$$

- Beban pasangan dinding pasangan bata
 $T \times BJ = 0,15 \times 600 = 90 \text{ kg/m}^2$

Perhitungan berat dinding per lantai

- Lantai GF – 2

$$H = 4,5 \text{ meter}$$

$$W_{DL} = 90 \text{ kg/m}^2 \times 4,5 \text{ m} = 405 \text{ kg/m}$$

- Lantai P1 – P3 Mezz

$$H = 3,2 \text{ Meter}$$

$$W_{DL} = 90 \text{ kg/m}^2 \times 3,2 \text{ m} = 288 \text{ kg/m}$$

- Lantai 3 – 4

$$H = 4 \text{ meter}$$

$$W_{DL} = 90 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m} = 360 \text{ kg/m}$$

- Lantai 5

$$H = 5 \text{ meter}$$

$$W_{DL} = 90 \text{ kg/m}^2 \times 5 \text{ m} = 450 \text{ kg/m}$$

- Lantai 6 - 30

$$H = 3,4 \text{ meter}$$

$$W_{DL} = 90 \text{ kg/m}^2 \times 3,4 \text{ m} = 306 \text{ kg/m}$$

- Beban dinding panel precast, $t = 10 \text{ cm}$

$$BJ \text{ beton} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Jadi berat dinding precast, } W_{DL} = 0,01 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ = 240 \text{ kg/m}^2$$

Perhitungan berat panel precast per lantai

- lantai 3 - 4

$$h = 4 \text{ meter}$$

$$W_{DL} = 240 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m} = 960 \text{ kg/m}$$

- Lantai 5
 $h = 5 \text{ meter}$
 $W_{DL} = 240 \text{ kg/m}^2 \times 5 \text{ m} = 1200 \text{ kg/m}$
- Lantai 6 – 30
 $h = 3,4 \text{ meter}$
 $W_{DL} = 240 \text{ kg/m}^2 \times 3,4 \text{ m} = 816 \text{ kg/m}$
- Beban dinding kaca, $t = 8 \text{ mm}$. (*tinted sunergy glass*)
 $BJ \text{ kaca} = 2579 \text{ kg/m}^3$
 $\text{Jadi berat kaca, } 0,008 \times 2579 \text{ kg/m}^3 = 20,632 \text{ kg/m}^2$
 $\text{Berat peralatan dan perlengkapan sebesar } 25\% \text{ dari beban kaca, maka } = 5,16 \text{ kg/m}^2$
Total Berat = 25,8 kg/m²
 $\text{Perhitungan berat panel precast per lantai}$
 - lantai 3 - 4
 $h = 4 \text{ meter}$
 $W_{DL} = 25,8 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m} = 103,2 \text{ kg/m}$
 - Lantai 5
 $h = 5 \text{ meter}$
 $W_{DL} = 25,8 \text{ kg/m}^2 \times 5 \text{ m} = 129 \text{ kg/m}$
 - Lantai 6 – 30
 $h = 3,4 \text{ meter}$
 $W_{DL} = 25,8 \text{ kg/m}^2 \times 3,4 \text{ m} = 87,72 \text{ kg/m}^2$

4.1.2 Beban Mati Alat

Beban mati tambahan merupakan beban yang diakibatkan oleh beberapa alat industri pada gedung, seperti genset, tandon (*Rooftank*).

Beban genset diperoleh dari spesifikasi brosur genset, digunakan Mitsubishi Genset model S16R2-PTAW

- Mitsubishi Genset ($5,7 \times 2,1 \times 2,8$) m = 14830 kg
 $\text{Pada lantai atap, disediakan beberapa jenis } rooftop \text{ dari panel fiber glass}$

- Panel Fiber Glass, Type JTF-30 = 30000 kg
- Panel Fiber Glass, Type JTF-12A = 12000 kg

4.1.3 Beban Hidup

Beban Hidup yang digunakan tidak dikalikan dengan faktor reduksi. Rincian beban hidup yang digunakan adalah:

- lantai atap dan atap ruang mesin elevator
 - Beban hidup atap datar : 96 kg/m^2
 - Beban Hujan : 20 kg/m^2
- lantai Dasar – lantai 30
 - Beban hidup unit apartemen : 192 kg/m^2
 - Beban hidup tempat parkir : 192 kg/m^2
 - Beban hidup Lobby : 479 kg/m^2
 - Beban partisi : 72 kg/m^2

Untuk beban yang lebih dari 383 kg/m^2 beban partisi tidak perlu disertakan.

Total Beban Lobby : 479 kg/m^2

Total Beban Unit Apartemen : 264 kg/m^2

Total Beban Parkir/Garasi : 192 kg/m^2

4.1.4 Beban Angin

SNI 1727-2013 mengisyaratkan dalam pembebanan angin untuk gedung sesuai dengan prosedur pada tabel 27.2-1

1. Tentukan kategori resiko bangunan gedung atau struktur lain berdasarkan tabel 1.5-1

Tabel 4. 1 Kategori Resiko Bangunan Gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

Berdasarkan tabel diatas, jenis bangunan dapat disesuaikan dengan tabel 1 SNI 1726-2012. Berdasarkan tabel 1, gedung terdefinisi sebagai gedung apartemen dengan **kategori resiko II**.

2. Tentukan kecepatan angin dasar

Dalam hal penentuan kecepatan angin dasar, besarnya kecepatan dapat diambil dari beberapa sumber seperti dari situs badan meteorologi dan geofisika mengenai kecepatan angin daerah tinjauan. Karena evaluasi gedung One East Residences diletakkan di wilayah kepulauan Serui, Papua, maka kecepatan angin diperoleh sebesar ± 4 km/jam untuk kecepatan angin rata-rata, dan pada kondisi ekstrim sebesar 70 km/jam (sumber: BMKG). Kecepatan yang akan digunakan saat analisa permodelan struktur adalah beban angin pada kondisi ekstrim.

3. Tentukan parameter beban angin

- Faktor arah angin (K_d)

Penentuan faktor arah angin diatur sesuai pasal 26.6 SNI 1727-2013, pada tabel 26.6-1

Tabel 4. 2 Faktor Arah Angin

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

Pada tabel diatas, tipe struktur yang digunakan adalah dinding pejal, dengan **faktor arah angin (K_d) sebesar 0,85.**

- Kategori eksposur

Untuk setiap arah angin yang diperhitungkan, eksposur lawan angin didasarkan pada kekasaran tanah yang ditentukan dari topografi alam, vegetasi, dan fasilitas dibangun, sesuai dengan SNI 1727-2013 pasal 26.7 gedung dievaluasi untuk **kategori eksposur B** (berada pada daerah perkotaan)

- Faktor Topografi (K_{zt})

Faktor topografi diperlukan untuk memperhitungkan efek peningkatan kecepatan angin pada bukit, bukit memanjang, dan tebing curam, yang dirumuskan sebagai berikut;

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

Dimana:

K_1 = Faktor untuk memperhitungkan bentuk fitur topografis dan pengaruh kecepatan maksimum

K_2 = Faktor untuk memperhitungkan reduksi dalam peningkatan kecepatan sehubungan dengan jarak ke sisi angin datang atau ke sisi angin pergi dari puncak

K_3 = Faktor untuk memperhitungkan reduksi dalam peningkatan kecepatan sehubungan dengan ketinggian diatas elevasi kawasan setempat.

Karena gedung apartemen One East Residences tidak di evaluasi pada daerah bertebing maupun berbukit, maka sesuai dengan SNI1727-2013 Pasal 26.8.2 besarnya nilai **K_{zt} diambil = 1**

- Faktor efek tiup angin (G)

Faktor efek tiup angin (G) diambil dengan memperhitungkan frekuensi alami dari gedung yang ditinjau untuk mengklasifikasikan kategori struktur gedung apakah kaku atau fleksibel. SNI 1727-2013, pasal 26.2 menyatakan bahwa gedung dianggap kaku apabila memiliki frekuensi alami lebih dari 1 Hz, sedangkan gedung One East Residences, memiliki frekuensi getar alami adalah 0,240 Hz (Hasil didapat melalui analisa permodelan struktur menggunakan SAP 2000). Perhitungan Faktor Efek Tiup Angin mengikuti prosedur SNI 1727-2013 pasal 26.9.5, dimana nilai G ditentukan melalui persamaan berikut:

$$G = 0,925 \left(\frac{1 + 1,7 I_z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R}}{1 + 1,7 g_v I_z} \right)$$

Dimana,

$$I_z = c \left(\frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{6}} = 0,3 \left(\frac{10}{9,14} \right)^{\frac{1}{6}} = 0,3$$

Sesuai dengan tabel 26.9-1 mengenai konstanta eksposur daratan

$$\begin{aligned} G_R &= \sqrt{2 \ln(3600 \cdot n_1)} + \frac{0,577}{\sqrt{2 \ln(3600 \cdot n_1)}} \\ &= \sqrt{2 \ln(3600 \cdot 0,240)} + \frac{0,577}{\sqrt{2 \ln(3600 \cdot 0,24)}} \\ &= 3,83 \end{aligned}$$

$g_Q = g_v$ diambil sebesar 3,4

R, faktor respon resonan ditentukan melalui persamaan

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_B (0,53 + 0,47 R_L)}$$

$$R_n = \frac{7,47 N_1}{(1 + 10,3 \cdot N_1)^{5/3}}$$

Nilai N_1 dapat dicari dengan persamaan

$$N_1 = \frac{n_1 L_z}{V_z}$$

Dimana konstanta eksposur yang diambil berdasar pada SNI 1727-2013 tabel 26.9-1

$$L_z = l \left(\frac{z}{10} \right)^{1/3} = 97,54 \left(\frac{9,14}{10} \right)^{1/3} = 94,66 \text{ m}$$

$$V = 70 \text{ km/jam (kondisi ekstrim wilayah Serui)} \\ = 43,4 \text{ mil/jam}$$

$$V_z = \bar{b} \left(\frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{\alpha}} = 0,45 \left(\frac{9,14}{10} \right)^{1/4} \cdot 43,4 \\ = 19,14 \text{ mil/jam}$$

$$N_1 = \frac{0,240 \times 94,66}{43,4} = 0,52 \text{ Hz}$$

$$R_n = \frac{7,47 \cdot 0,52}{(1+10 \cdot 3,0 \cdot 52)^{5/3}} = 0,17$$

$$R_l = R_h = \frac{4,6 \cdot \eta \cdot h}{V_z}$$

$$\eta = \frac{4,6 \cdot 0,24 \cdot 124,9}{19,14}$$

$$= 7,2 > 0 \text{ Maka,}$$

$$R_l = R_h = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) = \frac{1}{7,2} - \frac{1}{2 \cdot 7,2^2} (1 - e^{-2\eta}) \\ = 0,12$$

$$R_l = R_B = \frac{4,6 \cdot \eta \cdot B}{V_z}$$

*) dimana B adalah panjang gedung dalam arah tegak lurus dengan arah datangnya angin

$$= \frac{4,6 \cdot 0,24 \cdot 65,55}{19,14}$$

$$= 3,78 > 0 \text{ Maka,}$$

$$R_l = R_B = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) = \frac{1}{3,78} - \frac{1}{2 \cdot 3,78^2} (1 - e^{-2\eta}) \\ = 0,29$$

$$R_l = R_L = \frac{4,6 \cdot \eta \cdot L}{V_z}$$

*) dimana L adalah panjang gedung dalam arah sejajar dengan arah datangnya angin

$$= \frac{4,6 \cdot 0,24 \cdot 45,49}{19,14}$$

$$= 2,62 > 0 \text{ Maka,}$$

$$R_t = R_L = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2}(1 - e^{-2\eta}) = \frac{1}{2,62} - \frac{1}{2.2,62^2}(1 - e^{-2\eta}) = 0,19$$

Maka nilai faktor respons resonan dapat ditentukan melalui analisa berikut:

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_B (0,53 + 0,47 R_L)} \\ &= \sqrt{\frac{1}{0,02} \cdot 0,17 \cdot 0,12 \cdot 0,29 (0,53 + 0,47 \cdot 0,19)} \\ &= 0,42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{\frac{1}{1 + 0,63 \left(\frac{B+h}{L_Z} \right)^{0,62}}} \\ &= \sqrt{\frac{1}{1 + 0,63 \left(\frac{65,55 + 124,9}{94,66} \right)^{0,62}}} = 0,71 \end{aligned}$$

Faktor efek tiupan angin (G) adalah:

$$\begin{aligned} G &= 0,925 \left(\frac{1 + 1,7 I_Z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R}}{1 + 1,7 g_v I_Z} \right) \\ &= 0,925 \left(\frac{1 + 1,7 \cdot 0,3 \sqrt{3,4^2 \cdot 0,71^2 + 3,83^2 \cdot 0,42}}{1 + 1,7 \cdot 3,4 \cdot 0,3} \right) \\ &= 0,935 \end{aligned}$$

- Klasifikasi Ketertutupan

Gedung apartemen One East Residences diklasifikasikan sebagai bangunan tertutup.

- Koefisien tekanan internal (GC_{pi})

Koefisien tekanan internal harus ditentukan berdasarkan SNI 1727-2013 tabel 26.11-1 seperti berikut.

Tabel 4. 3 Koefisien Tekanan Internal

Sistem Penahan Beban Angin Utama dan Komponen dan Kladang		Semua Ketinggian
Tabel 26.11-1 Koefisien Tekanan Internal, (GC_{pi})		Dinding & Atap
Bangunan Tertutup, Tertutup Sebagian, dan Terbuka		
Klasifikasi Ketertutupan	(GC_{pi})	
Bangunan gedung terbuka	0,00	
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55	
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18	

Catatan:

1. Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi dari permukaan internal.
2. Nilai (GC_{pi}) harus digunakan dengan q , atau seperti yang ditetapkan.
3. Dua kasus harus dipertimbangkan untuk menentukan persyaratan beban kritis untuk kondisi yang sesuai:
 - (i) nilai positif dari (GC_{pi}) diterapkan untuk seluruh permukaan internal
 - (ii) nilai negatif dari (GC_{pi}) diterapkan untuk seluruh permukaan internal

Dari tabel diatas didapatkan untuk bangunan tertutup adalah **0,18** dimana tanda negatif dan positif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi dari permukaan internal.

4. Menentukan koefisien eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 27.3, nilai koefisien eksposur tekanan velositas adalah:

$$K_z = 2,01 (z/z_g)^{2/\alpha}$$

Dimana nilai $z_g = 365,76$; $\alpha = 7$ sesuai dengan tabel 26.9-1 SNI 1727-2013.

Maka nilai K_z

$$\begin{aligned} K_z &= 2,01 (124,9/365,76)^{2/7} \\ &= 1,47 \end{aligned}$$

5. Tentukan tekanan velositas q atau q_h

SNI 1727-2013 mengisyaratkan untuk tekanan velositas, harus dihitung dengan persamaan berikut;

$$\begin{aligned} q_z &= 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \quad (\text{dalam satuan SI}) \\ &= 0,613 \cdot 1,47 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 19,14^2 \\ &= 12,357 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

SNI 1727-2013 pasal 27.1.5, mengisyaratkan beban angin yang digunakan dalam desain untuk bangunan gedung dengan dinding tertutup atau tertutup sebagian tidak boleh kurang dari 16 lb/ft^2 ($0,77 \text{ KN/m}^2$) dikalikan dengan luas dinding bangunan gedung dan 8 lb/ft^2 ($0,38 \text{ KN/m}^2$) dikalikan dengan luas atap gedung yang terproyeksi pada bidang vertical tegak lurus terhadap arah angin yang diasumsikan.

- Beban angin pada dinding
 $q = 12,357 \text{ N/mm}^2 = 0,01235 \text{ KN/mm}^2$
 beban angin pada dinding tidak boleh kurang dari $0,77 \text{ KN/mm}^2$
 karena $q < 0,77 \text{ KN/mm}^2$, maka pada dinding digunakan beban sebesar $0,77 \text{ KN/mm}^2$
- Beban angin pada atap
 Beban angin pada atap tidak boleh kurang dari $0,38 \text{ KN/mm}^2$
 Karena $q < 0,38 \text{ KN/mm}^2$, maka pada atap digunakan beban sebesar $0,38 \text{ KN/mm}^2$

6. Tentukan koefisien tekanan eksternal, (C_p)

Gedung One East Residences diklasifikasikan sebagai gedung tertutup dengan atap miring sepihak. Maka nilai koefisien tekanan eksternal diambil sesuai gambar 27.4-1 pada SNI 1727-2013 dan tabel berikut.

Tabel 4. 4 koefisien tekanan dinding (C_p)

Permukaan	Koefisien tekanan dinding, C_p		Digunakan dengan
	L/B	C_p	
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	q_z
	0 – 1	- 0,5	
Dinding di sisi angin pergi	2	- 0,3	q_h
	≥ 4	- 0,2	
Dinding tepi	Seluruh nilai	- 0,7	q_h

$$B = 65,55 \text{ m}$$

$$L = 45,49 \text{ m}$$

$$\text{Nilai } L/B = 0,69$$

Maka nilai C_p untuk angin datang (q_z) diambil sebesar 0,8

Untuk dinding di sisi angin pergi (q_h), $C_p = -0,5$

Untuk dinding tepi, $C_p = -0,7$

7. Tekanan angin (p) pada setiap permukaan gedung

Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.2, struktur gedung dianggap kaku apabila memiliki frekuensi getar lebih dari 1 Hz. Berdasarkan analisis program bantu SAP 2000, struktur gedung One East Residences termasuk kedalam kategori fleksibel dikarenakan frekuensi $< 1\text{Hz}$. Oleh karena itu, tekanan angin dihitung berdasarkan SNI 1727-2013 Pasal 27.4.2 yaitu:

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi})$$

Pada dinding, beban akan ditinjau dimana angin mendekati dinding (sisi angin datang) dengan nilai $C_p = 0,8$ dan nilai $GC_{pi} = -0,18$

$$\begin{aligned} p_{\text{dinding}} &= 0,77 \times 0,8 \times 0,935 - 0,77 \times (-0,18) \\ &= 0,714 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

4.1.5 Tinjauan Struktur Terhadap Gempa

a) Kategori Resiko Bangunan

Apartemen merupakan bangunan gedung yang masuk dalam **kategori resiko II** sesuai dengan SNI 1726-2012, Tabel 1.

b) Faktor keutamaan Gempa

Berdasarkan kategori resiko gempa terhadap struktur, Faktor keutamaan gempa didapat nilai $I_e=1$ sesuai dengan SNI 1726-2012, tabel 2.

c) Parameter Percepatan Gempa

Nilai parameter percepatan gempa untuk kota Serui diambil dari peta zonasi gempa, pada gambar 3.2 dan gambar 3.3 SNI 1726-2012, dengan nilai $S_s = 1,5g$; $S_1 = 0,65g$.

d) Menentukan Klasifikasi Situs

Menurut SNI 1726:2012 pasal 5.3 untuk menentukan klasifikasi situs dapat ditentukan salah satunya dengan menentukan nilai N berdasarkan data hasil SPT. Berdasarkan hasil perhitungan klasifikasi situs, diperoleh situs memiliki nilai $\bar{N} = 26,87$ dan merupakan jenis Tanah Sedang (SD) yang memiliki rentan nilai antara 15 s/d 50.

e) Parameter Percepatan Desain Spektral

Pada bab sebelumnya, telah dilakukan analisa mengenai parameter percepatan desain spektral wilayah Serui, diperoleh nilai $S_{DS} = 1g$ dan $S_{D1} = 0.55g$

Batasan periode

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,55}{1} = 0,11 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,55}{1} = 0,55 \text{ detik}$$

Respon spectrum percepatan saat $T < T_0$

$$S_a = 1 (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0})$$

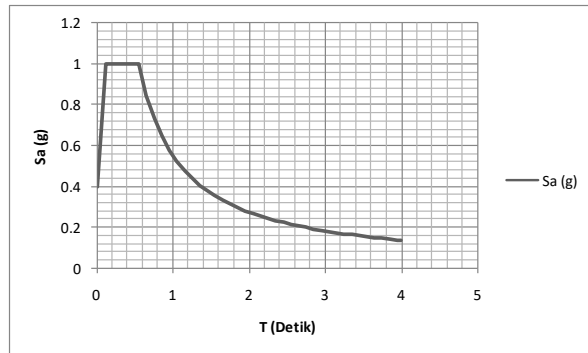
$$\text{Saat } T = 0 \quad (\text{asumsi})$$

$$S_a = 1 (0,4 + 0,6 \frac{0}{0,11}) = 0,4g$$

Tabel 4. 5 Parameter Percepatan Desain Spektral

T	Sa
(Detik)	(g)
0	0.4
0.11	1
0.55	1
0.65	0.846
0.75	0.733
0.85	0.647
0.95	0.579
1.05	0.523
1.15	0.478
1.25	0.44
1.35	0.407
1.45	0.379
1.55	0.355
1.65	0.333
1.75	0.314
1.85	0.297
1.95	0.282
2.05	0.268
2.15	0.255
2.25	0.244
2.35	0.234
2.45	0.224
2.55	0.215
2.65	0.207
2.75	0.2
2.85	0.193
2.95	0.186
3.05	0.18
3.15	0.174
3.25	0.169
3.35	0.164
3.45	0.159
3.55	0.154
3.65	0.15
3.75	0.146
3.85	0.143
3.95	0.139
4	0.137

Selanjutnya dari tabel diatas akan dibuat grafik respon spectrum yang akan disajikan pada gambar di bawah ini,



Gambar 4. 2 Grafik Respon Spektrum Wilayah Serui

f) Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik untuk gedung One East Residence dengan parameter S_{DS} dan S_{D1} adalah kategori desain seismik D. Parameter struktur R , C_d , dan Ω_0 selanjutnya ditentukan sesuai dengan tabel 9 SNI 1726-2012. Sistem ganda rangka beton bertulang pemikul momen khusus dengan dinding beton bertulang khusus memiliki nilai parameter struktur,

$$R = 7;$$

$$C_d = 5,5;$$

$$\Omega_0 = 2,5.$$

Tabel 4. 6 Kategori Desain Seismik

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^(v)	TI ^f	TI ^f
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^g	TI ^g	TI ^g
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembaidan	3½	3 ^h	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI

4.1.6 Kombinasi Pembebanan

Dalam analisa struktur, kombinasi pembebanan merupakan salah satu langkah yang tidak boleh terlewat. Pada saat proses konstruksi, tentu beban yang bekerja pada struktur hanya sebatas beban yang meliputi beban mati dan beban hidup yang diakibatkan oleh pekerja. Sedangkan saat bangunan sudah difungsikan, maka beban sementara akibat pekerja dan alat konstruksi akan berganti dengan beban layan akibat beban hidup permanen sesuai fungsi gedung. Hal ini akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban-beban yang terjadi (kombinasi multi beban)

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada saat evaluasi struktur gedung ini mengacu pada SNI 03-1727-2013 mengenai persyaratan beban minimum untuk gedung dan struktur lainnya, kombinasi beban diantaranya sebagai berikut:

$$1 = 1,4D$$

$$2 = 1,2D + 1,6L + 0,5Lr$$

$$3 = 1,2D + 1,6Lr + 0,5W$$

$$4 = 1,2D + 1,0W + L + 0,5Lr$$

$$5 = 1,2D + 1,0E + L$$

$$6 = 0,9D + 1,0W$$

$$7 = 0,9D + 1,0E$$

Dimana,

D = beban mati

L = beban hidup

E = beban gempa

W = beban angin

Lr = beban hidup atap

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.4.2 pengaruh beban gempa E harus ditentukan sesuai dengan ketentuan berikut :

- a. Untuk penggunaan dalam kombinasi 5

$$E = E_h + E_v$$

Keterangan:

$$E_h = \rho Q_E \text{ dan } E_v = 0,2S_{DS}D$$

$$\text{Sehingga: } E = \rho Q_E + 0,2S_{DS}D$$

- b. Untuk penggunaan dalam kombinasi 5

$$E = E_h - E_v$$

Keterangan:

$$E_h = PQ_E \text{ dan } E_v = 0,2S_{DS}D$$

$$\text{Sehingga: } E = \rho Q_E - 0,2S_{DS}D$$

Keterangan :

E_h : Pengaruh beban gempa horizontal

E_v : Pengaruh beban gempa vertical

ρ : Faktor Redundansi

QE : Pengaruh gaya gempa

SDS : Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek yang diperoleh

D : Pengaruh beban mati

Berdasarkan SNI 1726 – 2012 pasal 7.3.4.2 pada pengaruh beban gempa horizontal digunakan faktor redundansi, ρ , sebesar 1,3 (Kategori Desain Seismik D) dan SDS yang didapat sebesar 1.

Sehingga:

- Pengaruh beban gempa untuk kombinasi 5
 $E = 1,3 QE + 0,2 \times 1 \times D = 1,3 QE + 0,2 D$
- Pengaruh beban gempa untuk kombinasi 7
 $E = 1,3 QE - 0,2 \times 1 \times D = 1,3 QE - 0,2 D$

Berdasarkan ketentuan ini, kombinasi pembebanan yang digunakan adalah:

1. $= 1,4D$
2. $= 1,2D + 1,6L + 0,5Lr$
3. $= 1,2D + 1,6 Lr + 0,5W$
4. $= 1,2D + 1,0W + L + 0,5Lr$
5. $= 1,4D + 1,3E_x + L$
6. $= 1,4D + 1,3E_y + L$
7. $= 0,9D + 1,0W$
8. $= 0,7D + 1,3E_x$
9. $= 0,7D + 1,3E_y$

Kombinasi lain, pasal 2.4.1

Kombinasi ini digunakan untuk perhitungan pondasi

1. $= D$
2. $= D + L$
3. $= D + Lr$
4. $= D + 0,75L + 0,75 Lr$
5. $= D + 0,7E$
6. $= D + 0,75L + 0,525E$
7. $= 0,6D + 0,6W$
8. $= 0,6D + 0,7E$

Kombinasi beban layan untuk perencanaan pondasi direncanakan menggunakan pengaruh beban gempa horizontal dengan faktor kuat lebih berdasarkan SNI 1726 – 2012 pasal 7.4.3.1. Pengaruh kombinasi 5, 6, dan 9 ditentukan sesuai dengan ketentuan berikut:

$\Omega_0 = 2,5$ (faktor kuat lebih struktur rangka pemikul momen dan dinding beton bertulang khusus)

$$E_{mh} = \Omega_0 Q_E = 2,5 Q_E$$

Keterangan:

E_{mh} : Pengaruh beban gempa horizontal termasuk kuat lebih struktur

Sehingga, pengaruh kombinasi beban yang digunakan adalah

5. $(1+0,14 \text{ SDS})D + 0,7.2,5.Q_E$

6. $(1+0,105 \text{ SDS})D + 0,525.2,5.Q_E + 0,75 L + 0,75 L_r$

8. $(0,6-0,14 \text{ SDS})D + 0,7.2,5.Q_E$

Berdasarkan ketentuan ini, kombinasi pembebanan yang digunakan adalah:

1 = D

2 = D + L

3 = D + L_r

4 = D + 0,75L + 0,75 L_r

5a. = 1,14D + 1,75E_x

5b. = 1,14D + 1,75E_y

6a. = 1,105D + 1,3125 E_x + 0,75 L + 0,75 L_r

6b. = 1,105D + 1,3125 E_y + 0,75 L + 0,75 L_r

7 = 0,6D + 0,6W

8a. = 0,46D + 1,75E_x

8b. = 0,46D + 1,75E_y

4.2 Kontrol Respon Dinamis Gedung

4.2.1 Kontrol Periode Fundamental

Periode fundamental pendekatan dihitung berdasarkan nilai C_t dan x yang terdapat pada tabel 15, SNI 1726:2012.

Tabel 4. 7 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus termasuk kedalam tipe struktur semua sistem struktur lainnya. Selanjutnya nilai T_a dapat dihitung menggunakan persamaan sesuai dengan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2.1.

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (5-)$$

Dimana;

T_a : Periode pendekatan fundamental pendekatan

h_n : tinggi struktur gedung dalam meter

untuk sistem struktur lainnya, diperoleh parameter nilai C_t = 0,0488 dan x = 0,75

maka perhitungan periode fundamental pendekatan,

$$T_a = C_t \times h_n^x = 0,0488 \times 124,9^{(0,75)}$$

$$T_a = 1,97 \text{ detik}$$

Selanjutnya dalam menganalisa perilaku struktur, dilakukan pembatasan terhadap nilai periode dengan menghitung batas atas periode struktur dengan mengalikan periode fundamental pendekatan dengan koefisien C_u .

Koefisien nilai C_u dapai diperoleh dari tabel 14 pada SNI 1726:2012, dan diambil berdasarkan besarnya nilai S_{D1} .

Tabel 4. 8 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Berdasarkan bab sebelumnya, diketahui Nilai S_{D1} kota Serui adalah = 0,6. Sesuai tabel diatas, maka didapat nilai koefisien $C_u = 1,4$.

$$C_u \times T_a = 1,4 \times 1,97 = 2,75 \text{ detik}$$

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1, periode fundamental struktur (T) yang digunakan:

- i. Jika $T_c > C_u \times T_a$, maka digunakan $T = C_u \times T_a$
- ii. Jika $T_a < T_c < C_u \times T_a$ maka digunakan $T = T_c$
- iii. Jika $T_c < T_a$ maka digunakan $T = T_a$

Dimana;

T_c = Periode fundamental struktur yang diperoleh dari analisa struktur.

Dari hasil analisa program bantu analisa struktur, maka didapat $T_c = 4,20$ detik, $T_a = 1,97$ dan $C_u \times T_a = 2,75$ detik. Maka digunakan $T = C_u \times T_a = 2,75$ detik

Tabel 4. 9 Periode Getar Fundametal Struktur

TABLE: Modal Participating Mass Ratios			
OutputCase	StepType	StepNum	Period
Text	Text	Unitless	Sec
MODAL	Mode	1	4.209018
MODAL	Mode	2	3.925517
MODAL	Mode	3	3.505519
MODAL	Mode	4	1.317369
MODAL	Mode	5	1.229464
MODAL	Mode	6	1.078989
MODAL	Mode	7	0.898094
MODAL	Mode	8	0.870295
MODAL	Mode	9	0.838656
MODAL	Mode	10	0.760231

4.2.2 Kontrol Gaya Geser Dasar

Kontrol gaya geser dinamis berguna untuk mengetahui apakah gaya gempa yang telah diinput melalui respon spectrum sudah sesuai dengan persyaratan 1726-2012. Dari analisa periode fundamental sebelumnya, T yang didapat adalah 2,75 detik. Berdasarkan SNI 1726:2012, pasal 7.8.1.1, koefisien seismik, C_s , dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_{sperlu} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{1}{\frac{7}{1}} = 0,1429$$

Tetapi tidak perlu melebihi dari,

$$C_{s1} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,67}{2,75\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,0348$$

Namun, nilai C_s harus tidak kurang dari

$$C_{s2} = 0,044 S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$$

$$C_{s2} = 0,044 \times 1 \times 1 = 0,044 \geq 0,01 \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan $C_s = 0,044$

Karena struktur yang berlokasi didaerah dimana S_1 sama dengan atau lebih dari 0,6g, maka C_s tidak kurang dari

$$C_{s3} = \frac{0,5 \times S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,5 \times 0,67}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,0478$$

$$C_{sperlu} \geq C_{s3} = 0,044 \geq 0,0478,$$

maka digunakan $C_s = 0,0478$

Perhitungan gaya geser dasar

Sesuai dengan SNI 1726-2012, gaya geser yang dianalisa diatas selanjutnya akan vertikal didistribusikan ke masing masing lantai, berdasarkan persamaan berikut ini;

$$V = C_s \cdot W_t$$

Dimana;

V : V Statik

C_s : Koefisien respon seismik Serui

W_t : Berat total gedung dari hasil analisa struktur

Tabel 4. 10 Base Reaction Awal

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN
RSX	LinRespSpec	Max	30210.39	5131.658	840.167
RSY	LinRespSpec	Max	5511.286	28851.3	1011.422
D+L	Combination		-2.093E-07	-2.658E-07	980373.586

W_t didapat dari hasil analisa struktur menggunakan program bantu diperoleh 980373,59 KN

$$V = 0,0478 \times 980373,59 \text{ KN}$$

$$V = 46861,86 \text{ KN}$$

Jika kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus

dikalikan dengan $0,85V/V_t$ sesuai SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4.1.

Dari analisa struktur didapat V dinamis untuk arah $X = 30210,39 \text{ KN}$; untuk arah $Y = 28851,33 \text{ KN}$

Diisyaratkan untuk,

$$V_{\text{baseshear}} \geq 0,85 V_{\text{static}}$$

Maka,

Untuk arah X

$$V_x \geq 0,85 V_{\text{static}}$$

$$30210,39 \geq 0,85 \times 46861,86$$

$$30210,39 \geq 39833,58 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Untuk arah Y ,

$$V_y \geq 0,85 V_{\text{static}}$$

$$28851,33 \geq 0,85 \times 46861,86$$

$$28851,33 \geq 39833,58 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Oleh karena hasil dari $V_{\text{baseshear}}$ tidak mencukupi sesuai dengan persyaratan pada SNI 1726-2012, maka gaya geser harus diperbesar dengan faktor skala yang diatur pada SNI 1726-2012 Pasal 7.9.4.1, dimana dalam penentuan faktor skala gempa harus sesuai dengan $0,85V/V_{\text{baseshear}}$

Skala faktor untuk arah X

$$\frac{0,85 \times 46861,86}{30210,39} = 1,318$$

Skala faktor untuk arah Y

$$\frac{0,85 \times 46861,86}{28851,33} = 1,3807$$

Setelah didapatkan faktor skala untuk masing-masing arah pembebanan, selanjutnya dilakukan analisa ulang struktur dengan mengalikan skala faktor yang diperoleh di atas pada *scale factor* untuk *Define Respons Spectra* pada analisis dengan program bantu, kemudian dilakukan analisis ulang dan didapat nilai dalam bentuk tabel sebagai berikut:

Tabel 4. 11 Base Reactions Akhir

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN
RSX	LinRespSpec	Max	39836.76	6763.53	840.167
RSY	LinRespSpec	Max	7609.98	39837.87	1011.422
D+L	Combination		-2.093E-07	-2.658E-07	980373.586

$$V_{\text{static}} = 46861,86$$

$$V_x = 39836.76$$

$$V_y = 39837.87$$

Untuk arah X

$$V_x \geq 0,85 V_{\text{static}}$$

$$35889,179 \geq 0,85 \times 46861,86$$

$$39836.76 \geq 39833,58 \quad (\text{Memenuhi})$$

Untuk arah Y,

$$V_y \geq 0,85 V_{\text{static}}$$

$$39837.87 \geq 0,85 \times 46861,86$$

$$39837.87 \geq 39833,58 \quad (\text{Memenuhi})$$

Hasil dari analisa ulang dengan perbesaran skala faktor, didapat hasil sudah memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4.1. Selanjutnya geser dasar ragam hasil analisa ulang tersebut akan digunakan sebagai beban gempa dalam perhitungan selanjutnya.

4.2.3 Kontrol Dual System

Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa desain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya. Kontrol Dual-System pada gedung One East Residences ini bertujuan untuk mengetahui apakah perbandingan antara struktur dinding geser dan sistem rangka pemikul momen sudah mencukupi dalam menerima distribusi beban secara keseluruhan

Tabel 4. 12 Besar Gaya Pada SRPM dan Dinding Geser

Kombinasi	SRPM		SW	
	F1	F2	F1	F2
0.7D + 1.3 EX	22868	10346.91	34460.76	11892.67
0.7D + 1.3 EX	-22203.9	-10862	-35207.3	-10040.5
0.7D + 1.3 EY	8741.163	28672.18	20832.88	18525.84
0.7D + 1.3 EY	-8077.1	-29187.3	-21579.4	-16673.6
0.9D + 1RSX	17762.26	7826.139	26315.5	9626.514
0.9D + 1RSX	-16908.5	-8488.41	-27275.3	-7245.12
0.9D + 1RSY	6895.457	21922.5	15832.52	14728.96
0.9D + 1RSY	-6041.66	-22584.8	-16792.3	-12347.6
1.2D + 1RSX + L	17964.36	7634.61	26091.42	10237.32
1.2D + 1RSX + L	-16706.4	-8679.93	-27499.4	-6634.32
1.2D + 1RSY + L	7097.561	21730.97	15608.44	15339.76
1.2D + 1RSY + L	-5839.56	-22776.3	-17016.4	-11736.8
1.4D + 1.3EX + 1L	23259.84	10008.21	34023.4	13032.66
1.4D + 1.3EX + 1L	-21812.1	-11200.7	-35644.6	-8900.47
1.4D + 1.3EY + 1L	9133.002	28333.48	20395.52	19665.84
1.4D + 1.3EY + 1L	-7685.26	-29526	-22016.7	-15533.6

Tabel 4. 13 Perbandingan Gaya pada SRPM dan Dinding Geser dalam Persen

SRPM %		SW %	
F1	F2	F1	F2
39.89%	46.52%	60.11%	53.48%
38.68%	51.97%	61.32%	48.03%
29.56%	60.75%	70.44%	39.25%
27.24%	63.64%	72.76%	36.36%
40.30%	44.84%	59.70%	55.16%
38.27%	53.95%	61.73%	46.05%
30.34%	59.81%	69.66%	40.19%
26.46%	64.65%	73.54%	35.35%
40.78%	42.72%	59.22%	57.28%
37.79%	56.68%	62.21%	43.32%
31.26%	58.62%	68.74%	41.38%
25.55%	65.99%	74.45%	34.01%
40.60%	43.44%	59.40%	56.56%
37.96%	55.72%	62.04%	44.28%
30.93%	59.03%	69.07%	40.97%
25.87%	65.53%	74.13%	34.47%

Dari hasil diatas, dapat dilihat bahwa persentase di SRPM hampir semua kombinasi pembebanan gempa lebih besar dari 25%, sehingga konfigurasi struktur gedung telah memenuhi syarat sebagai struktur dual system menurut SNI 03-1726-2012.

4.2.4 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Kontrol Simpangan bertujuan untuk mengetahui kinerja batas layan struktur gedung selain untuk menjaga

kenyamanan penghuni, mencegah kerusakan non-struktur, membatasi peretakan beton yang berlebihan.

Nilai dari simpangan antar lantai ini dihitung dengan aplikasi program bantu struktur yang selanjutnya batasan simpangan dinyatakan dengan perumusan yang telah diatur pada SNI 1726-2012, Pasal 7.8.6:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Dimana;

δ_x = Defleksi Pusat Massa di tingkat X

δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang diisyaratkan, ditentukan dengan analisis elastik

C_d = Faktor amplifikasi defleksi

I_e = Faktor keutamaan gempa

Tabel 4. 14 batas ijin simpangan antar lantai

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^a	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

Karena gedung One East Residences merupakan gedung dengan sistem ganda, maka penentuan batas simpangan mengikuti batas dari semua struktur lainnya.

Tabel 4. 15 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Arah X

Lantai	Elevasi	Tinggi antar tingkat	δe	δx_e	δx	δa	Ket
	(m)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap 2	124.9	4.9	222.70	2.6	14.3	98.0	Safe
Atap 1	120	3.4	220.10	1.8	9.9	68.0	Safe
30	116.6	3.4	218.30	2.2	12.1	68.0	Safe
29	113.2	3.4	216.10	2.6	14.3	68.0	Safe
28	109.8	3.4	213.50	3.3	18.2	68.0	Safe
27	106.4	3.4	210.20	3.9	21.4	68.0	Safe
26	103	3.4	206.30	4.5	24.8	68.0	Safe
25	99.6	3.4	201.80	4.8	26.4	68.0	Safe
24	96.2	3.4	197.00	5.0	27.5	68.0	Safe
23	92.8	3.4	192.00	5.3	29.2	68.0	Safe
22	89.4	3.4	186.70	5.7	31.3	68.0	Safe
21	86	3.4	181.00	6.0	33.0	68.0	Safe
20	82.6	3.4	175.00	6.2	34.1	68.0	Safe
19	79.2	3.4	168.80	6.6	36.3	68.0	Safe
18	75.8	3.4	162.20	6.8	37.4	68.0	Safe
17	72.4	3.4	155.40	7.1	39.1	68.0	Safe
16	69	3.4	148.30	7.3	40.2	68.0	Safe
15	65.6	3.4	141.00	7.4	40.7	68.0	Safe
14	62.2	3.4	133.60	7.7	42.3	68.0	Safe
13	58.8	3.4	125.90	7.9	43.5	68.0	Safe
12	55.4	3.4	118.00	8.0	44.0	68.0	Safe
11	52	3.4	110.00	8.1	44.6	68.0	Safe
10	48.6	3.4	101.90	8.3	45.7	68.0	Safe
9	45.2	3.4	93.60	8.4	46.2	68.0	Safe
8	41.8	3.4	85.20	8.6	47.3	68.0	Safe
7	38.4	3.4	76.60	8.6	47.3	68.0	Safe
6	35	3.4	68.00	8.4	46.2	68.0	Safe
5	31.6	5	59.60	14.3	78.7	100.0	Safe
4	26.6	4	45.30	9.1	50.1	80.0	Safe
3	22.6	4	36.20	7.5	41.3	80.0	Safe
p3 mezz	18.6	1.6	28.70	5.3	29.2	32.0	Safe
p3 a	17	1.6	23.40	0.7	3.9	32.0	Safe

Tabel 4. 16 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Arah Y

Lantai	Elevasi	Tinggi antar tingkat	δe	δx_e	δx	δa	Ket
	(m)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap 2	124.9	4.9	222.80	3.4	18.7	98.0	Safe
Atap 1	120	3.4	250.40	2.5	13.8	68.0	Safe
30	116.6	3.4	247.90	2.9	16.0	68.0	Safe
29	113.2	3.4	245.00	3.2	17.6	68.0	Safe
28	109.8	3.4	241.80	3.7	20.4	68.0	Safe
27	106.4	3.4	238.10	4.1	22.6	68.0	Safe
26	103	3.4	234.00	4.4	24.2	68.0	Safe
25	99.6	3.4	229.60	4.7	25.8	68.0	Safe
24	96.2	3.4	224.90	4.7	25.9	68.0	Safe
23	92.8	3.4	220.20	5.0	27.5	68.0	Safe
22	89.4	3.4	215.20	5.3	29.1	68.0	Safe
21	86	3.4	209.90	5.7	31.4	68.0	Safe

Dari hasil output *software* SAP 2000 v14.2.2, diperoleh hasil simpangan per lantai, dan dengan perumusan kontrol di atas maka besar/nilai simpangan antar lantai yang terjadi baik dari arah x maupun arah y belum semua memenuhi syarat, sehingga respon dinamis terhadap simpangan antar lantai struktur gedung One East Residences tersebut belum memenuhi kinerja batas layan struktur terutama jika struktur dibangun di daerah gempa tinggi.

4.2.5 Kontrol Rasio Partisipasi Massa

Untuk mendapatkan hasil analisis struktur yang baik, analisa yang dilakukan harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi minimal 90% dari massa actual dari masing masing arah horizontal, orthogonal dari respon yang ditinjau model. Hasil partisipasi massa ragam disajikan dalam tabel berikut;

Tabel 4. 17 Modal Partisipasi Massa

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	4.209018	0.0087	0.6056	0.000004604
MODAL	Mode	2	3.925517	0.6319	0.6125	0.000006124
MODAL	Mode	3	3.505519	0.6378	0.6276	0.000009352
MODAL	Mode	4	1.317369	0.6384	0.7219	0.00001395
MODAL	Mode	5	1.229464	0.7487	0.7227	0.0000249
MODAL	Mode	6	1.078989	0.7492	0.7539	0.00004744
MODAL	Mode	7	0.898094	0.7492	0.7598	0.0002365
MODAL	Mode	8	0.870295	0.7492	0.7644	0.0002651
MODAL	Mode	9	0.838656	0.7493	0.7644	0.0002651
MODAL	Mode	10	0.760231	0.7519	0.7938	0.0002651
MODAL	Mode	11	0.750075	0.761	0.795	0.0002724
MODAL	Mode	12	0.732794	0.7622	0.795	0.0003839
MODAL	Mode	13	0.698762	0.8056	0.7957	0.0004114
MODAL	Mode	14	0.613013	0.8056	0.7959	0.0004114
MODAL	Mode	15	0.603123	0.8057	0.8048	0.0004115
MODAL	Mode	16	0.596405	0.8058	0.82	0.000414
MODAL	Mode	17	0.586799	0.806	0.82	0.0004144
MODAL	Mode	18	0.550755	0.806	0.836	0.0004144
MODAL	Mode	19	0.541327	0.806	0.836	0.0004145
MODAL	Mode	20	0.539696	0.806	0.836	0.0004145
MODAL	Mode	21	0.490182	0.8368	0.8363	0.0004152
MODAL	Mode	22	0.445102	0.8368	0.8363	0.0006463
MODAL	Mode	23	0.435273	0.8368	0.8372	0.0006544
MODAL	Mode	24	0.430896	0.8368	0.8372	0.0008629
MODAL	Mode	25	0.426726	0.8372	0.8511	0.0009119
MODAL	Mode	26	0.416311	0.8377	0.8553	0.001
MODAL	Mode	27	0.415694	0.8379	0.8589	0.001
MODAL	Mode	28	0.41461	0.8379	0.8593	0.0014
MODAL	Mode	29	0.404928	0.8379	0.8594	0.0014
MODAL	Mode	30	0.39611	0.8379	0.8594	0.0014
MODAL	Mode	31	0.36847	0.8381	0.8596	0.2547
MODAL	Mode	32	0.368072	0.8381	0.8601	0.2913
MODAL	Mode	33	0.361361	0.8535	0.8601	0.2915
MODAL	Mode	34	0.337752	0.8539	0.862	0.3101
MODAL	Mode	35	0.328311	0.854	0.8625	0.4271
MODAL	Mode	36	0.322997	0.8583	0.8625	0.4274

Dari hasil analisis struktur, diperoleh partisipasi massa telah mencapai 90 % untuk arah X maupun Y pada mode 50.

4.2.6 Kesimpulan Analisa Respon Dinamis Struktur

Setelah dilakukan analisa dengan program bantu, dan dilakukan kontrol dinamis perilaku gedung terhadap modifikasi beban gempa yang terjadi, maka respon dinamis gedung disimpulkan sebagai berikut;

a) Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur yang didapat dari program bantu adalah 4,2 detik, dimana batas atas dari struktur gedung dengan sistem ganda untuk gedung One East Residences seharusnya adalah 2,75 detik. Dari analisa periode tersebut, dapat disimpulkan bahwa respon dinamis struktur gedung masih belum memenuhi persyaratan struktur gedung dengan sistem ganda menurut SNI 1726-2012, sedangkan menurut SNI 1726-2002 pasal 5.6, nilai waktu getar alami fundamental T_1 dari struktur gedung harus dibatasi, bergantung pada koefisien ζ wilayah gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkatnya n menurut persamaan.

$$T_1 < \zeta n$$

Dimana;

T_1 = Periode Fundamental dari hasil analisa struktur.

ζ = Koefisien untuk membatasi waktu getar alami

fundamental struktur gedung, berdasarkan Tabel 8 SNI 1726-2002.

n = Jumlah tingkat pada struktur gedung

Tabel 4.18 Koefisien Nilai untuk membatasi nilai periode getar struktur gedung

Wilayah Gempa	ζ
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

Berdasarkan wilayah gempa pada SNI 1726-2002, wilayah Serui termasuk kedalam wilayah gempa 6. Berdasarkan tabel diatas, didapat nilai $\zeta = 0,15$, dengan nilai $n = 34$, maka batasan waktu getar sesuai dengan SNI 1726-2002 diperoleh

$$T1 < \zeta n$$

$$4,2 \text{ Detik} < 0,15.34$$

$$4,2 \text{ Detik} < 5,1 \text{ Detik}$$

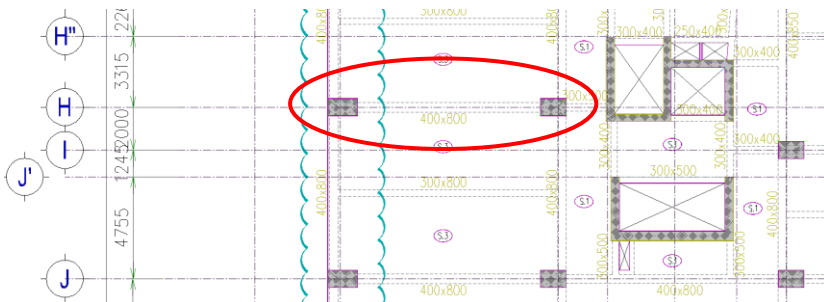
Dari hasil analisis menggunakan SAP 2000 dan analisis batasan waktu getar menggunakan SNI 1726-2002, diperoleh hasil bahwa periode getar struktur masih memenuhi persyaratan.

4.2.7 Verifikasi Analisa Struktur

Setelah dilakukan permodelan struktur 3 dimensi dengan menggunakan program bantu SAP 2000 v14.2.2 maka untuk membuktikan hasil analisa permodelan telah mendekati kondisi nyata struktur, akan dilakukan cek terhadap perhitungan manual. Perhitungan manual disini akan difokuskan pada gaya momen yang terjadi pada balok, juga pengaruh beban aksial yang membebani kolom. Verifikasi akan dilakukan dengan menggunakan kombinasi beban yang sama yaitu $D + L$ dan toleransi perbedaan 10%.

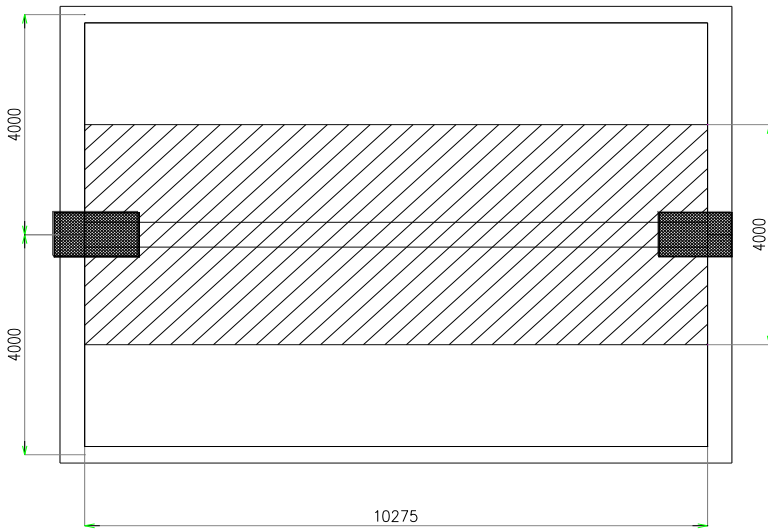
4.2.7.1 Perhitungan Momen Balok

Balok yang ditinjau sebagai elemen untuk verifikasi analisis adalah balok induk melintang pada As H;1-2, ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 3 Denah elemen balok yang ditinjau

Beban pada pelat akan ditransferkan menuju balok sesuai dengan luas tributari di sekitar balok. Besarnya luas tributary akan divisualisasikan pada gambar dibawah ini;



Gambar 4. 4 Luas tributari pada balok

Karena 2 bentang pelat di sekitar balok merupakan tipe pelat 1 arah dimana beban hanya ditransferkan searah bentang terpendek, maka luas tributary akan mengikuti kaidah perhitungan luas persegi panjang.

$$P = 10275 \text{ mm} = 10,275 \text{ m}$$

$$L = 4000 \text{ mm} = 4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A_T &= p \times l \\ &= 10,275 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 41,1 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Luas tributary balok} = 41,1 \text{ m}^2$$

Pembebanan Balok

Beban Mati (DL)

- Berat Pelat = t. pelat x γ.Beton

- $= 0,18 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 432 \text{ Kg/m}^2$
- Beban Keramik $= 30 \text{ Kg/m}^2$
Spesi menggunakan MU-420, dengan tebal 3 mm
- Beban Spesi $= 5 \text{ Kg/m}^2$
Beban Ducting dan Mekanikal diambil dari ASCE 7-2002
Tabel C3-1, (*Ceramics or Quarry tile on 25mm mortar bed, Acoustical fiberboard, Mechanical Duct Allowance, Suspended Steel Channel System*)
- Beban Ducting dan Mekanikal $= 19 \text{ Kg/m}^2$
Plafond dan penggantung, Jayaboard
- Beban Plafond dan Penggantung $= 8 \text{ Kg/m}^2$
 $Q_d = 494 \text{ kg/m}^2$

Semua beban mati pada pelat selanjutnya akan ditransferkan menuju balok sesuai dengan luas tributary daerah di sekitar balok.

Perhitungan luas tributary balok sekunder;

$$A_t = 2 \times p \times l = 2 \times 10275 \times 2000 = 41100000 \text{ mm}^2 \\ = 41,1 \text{ m}^2$$

$$W_{DL} = 494 \text{ kg/m}^2 \times 20,55 \text{ m}^2 / 10,275 \text{ m} = 988 \text{ kg/m}$$

Beban sendiri balok

- $W_{DL2} = 0,4 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 768 \text{ Kg/m}$

Beban mati total

- $W_{DL} + W_{DL2} = 988 + 768 = 1756 \text{ kg/m}$

Beban Hidup (LL)

- Beban Hidup ruang publik (Lobby) $= 479 \text{ kg/m}^2$
Beban hidup aktual yang diterima balok juga sesuai dengan luas tributary
 $W_{LL} = 479 \text{ kg/m}^2 \times 20,55 \text{ m}^2 / 10,275 \text{ m} = 958 \text{ kg/m}$

Beban Ultimate

- $1,4 W_{DL} = 1,4 \times 1756 \text{ kg/m} = 2458,3 \text{ kg/m}$
- $1,2 W_{DL} + 1,6 W_{LL} = 1,2 (1756) + 1,6 (958) \\ = 3640 \text{ kg/m (menentukan)}$

Besarnya nilai momen yang bekerja pada balok diambil Berdasarkan SNI 03-2847–2013 pasal 8.3.3

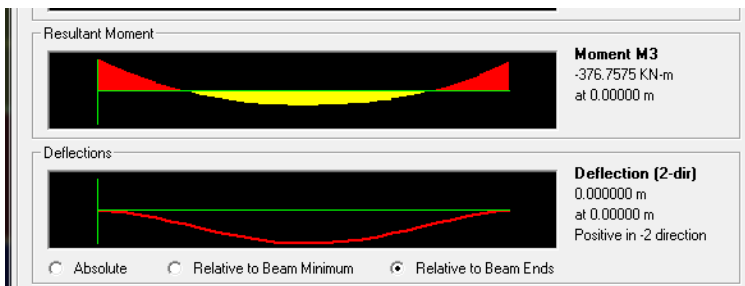
$$M_{tump1} = \frac{1}{10} W_u \cdot Lx^2 = \frac{1}{10} (3640)(10,275)^2 = 38429,53 \text{ kgm}$$

$$M_{Lap} = \frac{1}{16} W_u \cdot Lx^2 = \frac{1}{16} (3640)(10,275)^2 = 24018,45 \text{ kgm}$$

$$M_{tump2} = \frac{1}{11} W_u \cdot Lx^2 = \frac{1}{11} (3640)(10,275)^2 = 34935,93 \text{ kgm}$$

$$V_u = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{3640 \cdot 10,275}{2} = 18700,5 \text{ kg}$$

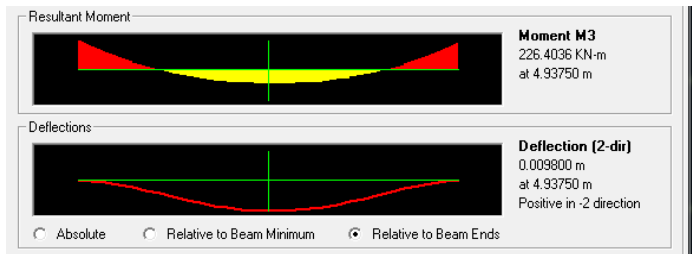
Setelah dilakukan perhitungan momen secara manual, selanjutnya akan dilakukan perbandingan dengan menggunakan SAP 2000 mengenai hasil momen yang terjadi.



Gambar 4. 5 Hasil Momen Tumpuan Pada SAP

Dari hasil analisa menggunakan SAP 2000 pada elemen balok yang ditinjau, didapat hasil sebagai berikut:

- Tumpuan (SAP 2000) = 376,75 KNm
- Hasil kalkulasi manual = 384,29 KNm
- Toleransi perbedaan = (384,29 KNm – 376,75 KNm)
- = 7,54 KNm
- = $\frac{7,54}{384,29} \times 100\% = 1,96\% < 10\%$



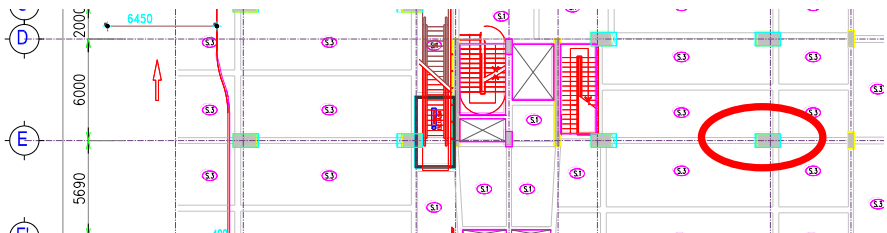
Gambar 4. 6 Hasil Momen Lapangan Pada SAP

- Lapangan (SAP 2000) = 226,41 KNm
- Hasil kalkulasi manual = 240,18 KNm
- Toleransi perbedaan = (240,18 KNm – 226,41 KNm)
- = 13,71 KNm
- = $\frac{13,71}{240,18} \times 100\% = 5,73 \% < 10\%$

Dari hasil analisa kalkulasi manual dan software SAP 2000, diperoleh hasil dengan toleransi < 10 %.

4.2.7.2 Perhitungan Aksial Kolom

Pada komponen balok, verifikasi dilakukan dengan memeriksa dan membandingkan besarnya momen antara program bantu dan perhitungan manual. Pada komponen struktur kolom, verifikasi dapat dilakukan dengan membandingkan besarnya beban aksial yang diterima pada kolom terbawah bangunan gedung. Sebagai contoh, akan diambil kolom pada As E;4 yang ditunjukkan pada denah berikut



Perhitungan beban akan langsung disajikan dalam bentuk tabel
Gambar 4. 7 denah kolom yang akan ditinjau pada As E:4

Pembebanan

Beban Mati akibat Pelat Lantai

Lantai	Rincian	Total
B.1A	Drop Panel Lantai B.1A (3,2m x 3m) x 0,5m x 23,52 KN/m ³	112,89 KN
B.2A	Drop Panel Lantai B.2A (3m x 2,08m) x 0,5m x 23,52 KN/m ³	73,38 KN
B.1A	Pelat Lantai B.1A (6,45m x 7,505m) x 0,30 m x 23,52 KN/m ³	341,56 KN
B.2A	Pelat Lantai B.2A (4,085m x 7,065m) x 0,30 x 23,52 KN/m ³	203,64 KN
GF-2	Pelat Lantai GF – 2 2 x (7,260m x 7,665m) x 0,18 x 23,52 KN/m ³	471,2 KN
P1-P3	Pelat Lantai P1-P3 3 x (7 m x 7,075 m) x 0,18 x 23,52 KN/m ³	629 KN
3	Pelat Lantai 3 (7m x 7,175m) x 0,15 x 23,52 KN/m ³	177,2 KN
4	Pelat Lantai 4 (5,54 m x 6,785 m) x 0,15 x 23,52 KN/m ³	132,61 KN
5 - 30	Pelat Lantai 5 – 30 25 (5,54m x 7,235 m) 0,15 x 23,52 KN/m ³	3535,22
A1	Pelat Lantai Atap 1 (4,045 m x 5,365m) 0,2 x 23,52 KN/m ³	102,08

Total = 5778,78 KN

Beban Mati Super-Imposed

Lantai	Rincian	Total
B.1A	Beban Spesi & Ducting Mekanikal pada Lantai B.1A (6,45m x 7,505m) x 0,24 KN/m ³	11,61 KN
B.2A	Beban Spesi & Ducting Mekanikal pada Lantai B.2A (4,085m x 7,065m) x 0,24 KN/m ³	6,93 KN

GF-2	Beban Spesi, Ducting Mekanikal, Keramik dan Penggantung plafond pada Lantai GF – 2 $2 \times (7,260 \text{ m} \times 7,665 \text{ m}) \times 0,63 \text{ KN/m}^3$	70,11 KN
P1-P3	Beban Spesi & Ducting Mekanikal pada Lantai P1-P3 $3 \times (7 \text{ m} \times 7,075 \text{ m}) \times 0,24 \text{ KN/m}^3$	35,66 KN
3	Beban Spesi, Ducting Mekanikal, Keramik dan Penggantung plafond Pada Lantai 3 $(7 \text{ m} \times 7,175 \text{ m}) \times 0,63 \text{ KN/m}^3$	31,64 KN
4	Beban Spesi, Ducting Mekanikal, Keramik dan Penggantung plafond Pada Lantai 4 $(5,54 \text{ m} \times 6,785 \text{ m}) \times 0,63 \text{ KN/m}^3$	23,68 KN
5 - 30	Beban Spesi, Ducting Mekanikal, Keramik dan Penggantung plafond Lantai 5 – 30 $25 (5,54 \text{ m} \times 7,235 \text{ m}) \times 0,63 \text{ KN/m}^3$	631,29 KN
A1	Beban Spesi, Ducting Mekanikal, dan Penggantung plafond Lantai Atap 1 $(4,045 \text{ m} \times 5,365 \text{ m}) \times 0,24 \text{ KN/m}^3$	5,2 KN

Total = 816,12 KN

Beban Balok Induk

Lantai	Rincian	Total
GF	Beban Balok Induk Lantai GF - $7,665 \text{ m} \times 0,35 \times 0,8 \times 23,52 \text{ KN/m}^3$ - $7,260 \text{ m} \times 0,35 \times 0,8 \times 23,52 \text{ KN/m}^3$	98,29 KN
2	Beban Balok Induk Lantai 2 - $4,94 \text{ m} \times 0,4 \times 0,8 \times 23,52 \text{ KN/m}^3$ - $7 \text{ m} \times 0,4 \times 0,8 \times 23,52 \text{ KN/m}^3$ - $2,65 \text{ m} \times 0,35 \times 0,6 \times 23,52 \text{ KN/m}^3$	102,95 KN
P1-P3	Beban Balok Induk Lantai P1-P3 - $8,74 \text{ m} \times 0,35 \times 0,85 \times 23,52 \text{ KN/m}^3 \times 3$ - $7 \text{ m} \times 0,35 \times 0,8 \times 23,52 \text{ KN/m}^3 \times 3$	330,41 KN
3	Beban Balok Induk Lantai 3 - $4,94 \text{ m} \times 0,35 \times 0,8 \times 23,52 \text{ KN/m}^3$ - $7 \text{ m} \times 0,35 \times 0,8 \times 23,52 \text{ KN/m}^3$	78,63 KN

4	Beban Balok Induk Lantai 4 - $5,54\text{m} \times 0,3 \times 0,75 \times 23,52 \text{ KN/m}^3$ - $6,785\text{m} \times 0,3 \times 0,75 \times 23,52 \text{ KN/m}^3$	145,36 KN
5-27	Beban Balok Induk Lantai 5 - 27 - $5,54\text{m} \times 0,35 \times 0,75 \times 23,52 \text{ KN/m}^3 \times 22$ - $7,235\text{m} \times 0,35 \times 0,75 \times 23,52 \text{ KN/m}^3 \times 22$	1735,20 KN
28-30	Beban Balok Induk Lantai 28 - 30 - $5,54\text{m} \times 0,35 \times 0,8 \times 23,52 \text{ KN/m}^3 \times 3$ $7,235\text{m} \times 0,35 \times 0,8 \times 23,52 \text{ KN/m}^3 \times 3$	252,4 KN
A1	Beban Balok Induk Lantai A1 - $4,045 \text{ m} \times 0,35 \times 0,8 \times 23,52 \text{ KN/m}^3$ - $5,365 \text{ m} \times 0,35 \times 0,8 \times 23,52 \text{ KN/m}^3$	61,97 KN

Total = 2805,21 KN

Beban Dinding

Lantai	Rincian	Total
2	Beban Dinding Kaca lantai 2 - $2,65\text{m} \times 4,5\text{m} \times 0,26 \text{ KN/m}^2$	3,1 KN
3	Beban Dinding Bata Ringan - $4,94\text{m} \times 4\text{m} \times 0,9 \text{ KN/m}^2$ Beban Dinding Kaca Lantai 3 - $7 \text{ m} \times 4\text{m} \times 0,26 \text{ KN/m}$	25,06 KN
4	Beban Dinding Bata Ringan - $5,54\text{m} \times 5\text{m} \times 0,9 \text{ KN/m}^2$ Beban Dinding Kaca Lantai 4 - $6,785\text{m} \times 5\text{m} \times 0,26 \text{ KN/m}^2$	33,75 KN
5	Beban Dinding Bata Ringan - $5,54\text{m} \times 3,4\text{m} \times 0,9 \text{ KN/m}^2$ Beban Dinding Kaca Lantai 5 - $7,235\text{m} \times 3,4\text{m} \times 0,26 \text{ KN/m}^3$	23,35 KN
6-30	Beban Dinding Bata Ringan - $5,54\text{m} \times 3,4\text{m} \times 0,9 \text{ KN/m}^3 \times 21$ Beban Dinding Panel Precast - $7,235\text{m} \times 3,4 \times 2,35 \text{ KN/m}^3 \times 21$	1569,96 KN

Total = 1655,22 KN

Beban Kolom

Lantai	Rincian	Total
--------	---------	-------

2A-B.1A	Beban Kolom K.1 - 4m x 0,8m x 1,5m x 23,52 KN/m ³ x 2	225,8 KN
GF-2	Beban Kolom K.1 - 4,5m x 0,8m x 1,4m x 23,52 KN/m ³ x 2	237,08 KN
P1-P2	Beban Kolom K.1 - 3,2m x 0,8 x 1,4m x 23,52 KN/m ³ x 2	168,6 KN
P3	Beban Kolom K.1 - 5,6m x 0,8 x 1,4m x 23,52 KN/m ³	147,52 KN
3	Beban Kolom K.1 - 4m x 0,8m x 1,4m x 23,52 KN/m ³	105,4 KN
4	Beban Kolom K.1 - 5m x 0,6m x 1,2m x 23,52 KN/m ³	84,67 KN
5-24	Beban Kolom K.1 - 3,4m x 0,6m x 1,2m x 23,52 KN/m ³ x 18	1036,4 KN
25-A1	Beban Kolom K.1 - 3,4m x 0,6m x 0,8m x 23,52 KN/m ³ x 6	230,31 KN

Total = 2235,77 KN

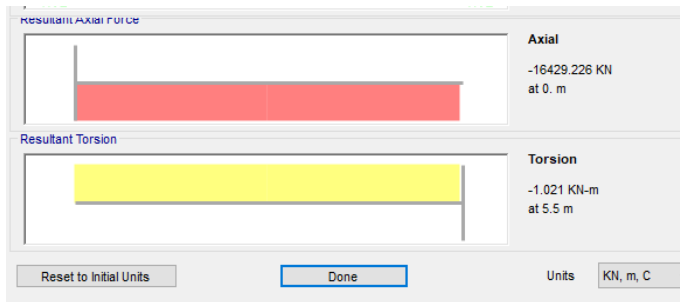
Beban Hidup

Lantai	Rincian	Total
B.1A	Beban Hidup Parkir B.1A (6,45m x 7,505m) x 1,92 KN/m ³	92,94 KN
B.2A	Beban Hidup Parkir B.2A (4,085m x 7,065m) x 1,92 KN/m ³	55,41 KN
GF-2	Beban Hidup Ruang Publik Lantai GF – 2 2 x (7,260m x 7,665m) x 4,79 KN/m ³	533,11 KN
P1–P3	Beban Hidup Parkir Lantai P1-P3 3 x (7 m x 7,075 m) x 1,92 KN/m ³	285,26 KN
3	Beban Hidup Hunian Lantai 3 (7m x 7,175m) x 1,92 KN/m ³	96,43 KN
4	Beban Hidup Hunian Lantai 4 (5,54 m x 6,785 m) x 1,92 KN/m ³	72,2 KN
5 - 30	Beban Hidup Hunian Lantai 5 – 30 25 (5,54m x 7,235 m) 1,92 KN/m ³	1923,93 KN
A1	Beban Hidup Atap (4,045 m x 5,365m) x 0,98 KN/m ³	21,26 KN

Total = 3080,54 KN

Beban mati total (W_{DL})	= 13091,1 KN
Beban hidup total (W_{LL})	= 3080,54 KN
Total	= 16171,64 KN

Dari hasil analisa menggunakan SAP 2000, dengan menggunakan kombinasi D+L pada kolom yang ditinjau diperoleh hasil gaya tekan aksial = 16491,98 KN



Gambar 4. 8 Hasil Aksial dari SAP 2000

Aksial (SAP 2000)	= 16429,23 KN
- Hasil kalkulasi manual	= 16171,63 KN
Toleransi perbedaan	= (16491,98 KNm – 16171,63 KNm)
	= 257,6 KNm
	= $\frac{257,06}{16429,23} \times 100\% = 1,55 \% < 10\%$

Karena verifikasi menunjukkan hasil perbedaan dibawah 10%, maka hasil analisa struktur menggunakan SAP 2000 dapat digunakan

BAB V

EVALUASI STRUKTUR

5.1 Evaluasi Struktur

Setelah melakukan analisa struktur menggunakan program bantu SAP 2000, diperoleh hasil mengenai respon dinamis perilaku struktur dalam menerima gempa. Selanjutnya kapasitas pada tiap penampang elemen akan dianalisa dalam bab ini, pada evaluasi struktur sekunder, perhitungan beban dan momen akan dilakukan secara manual dan membandingkan hasil kalkulasi manual dengan hasil pada SAP. Sedangkan untuk struktur primer, gaya dalam akan langsung diambil dari analisa SAP 2000.

5.2 Evaluasi Struktur Sekunder

5.2.1 Struktur Pelat Lantai

Struktur Pelat Lantai yang akan di analisa sebagai contoh perhitungan pelat pada bab ini adalah Pelat Lantai S-03, terletak pada As 1-2; H-J, yang berada pada Lobby dan akan ditinjau sebagai contoh perhitungan pelat 1 arah, serta pelat lantai S-01 pada As 4-5;E-F yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan pelat 2 arah.

5.2.1.1 Pembebanan Struktur Pelat Lantai

Beban yang bekerja pada struktur pelat lantai S-03 adalah beban mati dan beban hidup. Besarnya beban yang bekerja akan dianalisa sebagai berikut;

Beban Mati

- Berat sendiri = $t \cdot \gamma_{\text{Beton}}$
 $= 0,18 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 432 \text{ Kg/m}^2$

Untuk beban *super-imposed dead load*, akan digunakan sesuai dengan spesifikasi dalam brosur dengan rincian sebagai berikut:

Keramik yang digunakan pada One East Residences adalah keramik *Valentino Gress, Allure Cream* (60x60) cm

- Beban Keramik = 30 Kg/m²
Spesi menggunakan MU-420, dengan tebal 3 mm
- Beban Spesi = 5 Kg/m²
Beban Ducting dan Mekanikal diambil dari ASCE 7-2002 Tabel C3-1, (*Ceramics or Quarry tile on 25mm mortar bed, Acoustical fiberboard, Mechanical Duct Allowance, Suspended Steel Channel System*)
- Beban Ducting dan Mekanikal = 19 Kg/m²
Plafond dan penggantung, Jayaboard
- Beban Plafond dan Penggantung = 8 Kg/m²
Q_{DL} = 493 Kg/m²

Selanjutnya beban hidup yang bekerja akan dihitung sesuai dengan beban hidup hunian pada SNI 1727-2013 tabel 4.1.

Tabel 5. 1 Besar Beban Hidup Sesuai SNI 1727-2013

Rumah tinggal	
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)	
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48) ^l
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96) ^m
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	30 (1,44)
Semua ruang kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)
Semua hunian rumah tinggal lainnya	
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	40 (1,92)
Ruang publik ^a dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)
Garasi/Parkir	
Mobil penumpang saja	40 (1,92) ^{a,b,c}
Truk dan bus	

Beban hidup pada apartemen akan disesuaikan sesuai fungsinya. Struktur pelat S-03 dipasang diseluruh bagian utama ruang lobby dan tempat parkir.

Beban Hidup

- Beban hidup lantai ruang publik = 4,79 kN/m²
 $Q_{LL} = 488 \text{ Kg/m}^2$

Beban Ultimit

$$\begin{aligned} Qu1 &= 1,4 qDL = 1,4 \times 493 \text{ Kg/m}^2 = 690,2 \text{ Kg/m}^2 \\ Qu2 &= 1,2 qDL + 1,6 Qll \\ &= 1,2 \times 493 \text{ Kg/m}^2 + 1,6 \times 488 \text{ Kg/m}^2 \\ &= 1372,4 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

5.2.1.2 Evaluasi Struktur Pelat Lantai

Analisa struktur pelat lantai bertujuan untuk mengetahui momen lentur yang bekerja pada pelat, serta untuk mengevaluasi kapasitas dari tulangan pelat yang telah terpasang. Evaluasi disini tidak hanya fokus untuk mengetahui momen lentur yang bekerja namun juga terhadap syarat-syarat pemasangan tulangan pada pelat. Pada pelat 1 arah, momen dihitung sesuai ketentuan SNI 2847-2013.

Pelat Lantai S-03

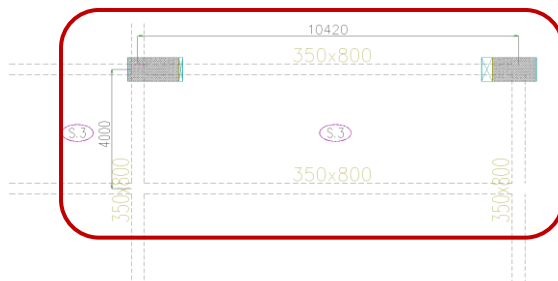
$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0.85 - \left(\frac{28-35}{28-35} \right) (0.85 - 0.8) = 0.8$$

(SNI 2847:2013, Pasal 10.2.7.3)

Tul D10, $f_y = 500 \text{ Mpa}$

Tebal Pelat = 180 mm; Selimut Beton = 20 mm



Gambar 5. 1 Denah Pelat Lantai S-03

5.2.1.3 Analisa Struktur Pelat lantai 1 Arah

$$Ly = 10420 - \left(\frac{350}{2} + \frac{350}{2} \right) = 10070 \text{ mm}$$

$$Lx = 4000 - \left(\frac{350}{2} + \frac{300}{2} \right) = 3675 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{Ly}{Lx} = \frac{10070}{3675} = 2,74 > 2 \text{ (Pelat 1 Arah)}$$

$$M_{tump1} = \frac{1}{9} Wu \cdot Lx^2 = \frac{1}{9} (1372,4)(3,675)^2 = 2059,46 \text{ kgm}$$

$$M_{Lap} = \frac{1}{14} Wu \cdot Lx^2 = \frac{1}{14} (1372,4)(3,675)^2 = 1323,94 \text{ kgm}$$

$$M_{tump2} = \frac{1}{11} Wu \cdot Lx^2 = \frac{1}{11} (1372,4)(3,675)^2 = 1685 \text{ kgm}$$

(berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 8.3.3)

Menghitung tebal efektif Pelat (d)

$$\begin{aligned} d_x &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 \\ &= 180 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10/2 \\ &= 156 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 - D \\ &= 180 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10/2 - 10 \\ &= 148 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dalam peninjauan evaluasi struktur pelat, akan dihitung berdasarkan tulangan terpasang sesuai dengan gambar *As Built Drawing*.

Tulangan Terpasang Tumpuan I.

Pada struktur pelat yang ditinjau, konfigurasi penulangan pelat adalah rangkap dan bersifat menerus dari tumpuan ke arah lapangan. Oleh karena itu, dalam analisa kapasitas penampang akan dianalisa menggunakan perhitungan tulangan rangkap,

1. Cek momen nominal aktual

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{20594600}{0.9} = 22882888,9 \text{ Nmm}$$

Ambil harga $x \leq 0,85 x_b$ untuk mencari titik berat, dimana:

$$\begin{aligned} d &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 \\ &= 180 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10/2 \\ &= 155 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 - D \\ &= 180 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10/2 - 10 \\ &= 145 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d' = 20 + 10/2 = 25 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 500} \cdot 155 = 84,5 \text{ mm}$$

$$x \leq 0,75 \times 84,5 = 63,41 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } x = 35 \text{ mm}$$

2. Kontrol tulangan leleh,

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600 \leq f_y$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{25}{50}\right) 600 \leq 500 \text{ Mpa}$$

$$f_s' = 171,4 \text{ Mpa} \leq 500 \text{ Mpa} \rightarrow \text{tulangan tekan tidak leleh}$$

Menurut data *As Built Drawing*, pada struktur pelat S-03, konfigurasi tulangan terpasang adalah D10-150

$$A_s = 0,25\pi d^2$$

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

S. Maksimal 3 x Tebal Slab (450 mm)

S. Maksimal pada penampang kritis 2 x Tebal Slab (2x180 = 360 mm)

SNI 03-2847-2013 Ps 10.5.4

Data penulangan terpasang adalah D10-150,

150 mm < 360 mm (*memenuhi*)

Maka,

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{0,25\pi \phi^2 b}{s} =$$

$$= \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{150} = 523,6 \text{ mm}$$

Pada konfigurasi tulangan rangkap, pada dasarnya lentur tulangan rangkap memiliki pengertian gaya dalam lentur yang terjadi tidak sepenuhnya dipikul oleh tulangan tarik akan tetapi tulangan tekan juga ikut memikul gaya dalam lentur yang terjadi. Oleh karena itu, analisa pada tulangan tekan perlu dilakukan

$$A_s' = 0,25\pi d^2$$

$$A_s' = 0,25 \times 3,14 \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}$$

$$A_s' \text{ aktual} = \frac{0,25\pi \phi^2 b}{S} = \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{150} = 523,6 \text{ mm}$$

3. Kontrol Kapasitas Lentur

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y) - (A_s' - f_s')}{0,85 \cdot f_c \cdot b}$$

$$a = \frac{(523,6 \times 500) - (523,6 \times 171,4)}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,78 \text{ mm}$$

$$M_n = 0,9 \cdot 0,85 \cdot a \cdot f_c' \cdot b \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \cdot f_s \cdot x (d - d')$$

$$M_n = 0,9 \cdot 0,85 \cdot 35 \cdot 1000 \left(155 - \frac{5,78}{2} \right) + 523,6 \cdot 171,4 \cdot (155 - 25)$$

$$= 35220601 \text{ Nmm}$$

$$= 3522,06 \text{ Kgm} > 2288,28 \text{ Kgm} \quad (\text{Memenuhi})$$

4. Kontrol tulangan susut

Cek syarat minimum tulangan susut ditentukan berdasarkan Okebutuhan tulangan minimum terhadap suhu dan susut, yang diatur pada SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1;

(a) Slab dengan mutu batang tulangan 280 atau 350, maka $\rho_{\min} = 0.020$

(b) Slab dengan mutu 420, batang tulangan ulir atau tulangan kawat las, $\rho_{\min} = 0.018$

(c) Slab yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 persen

$$\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$$

Digunakan $f_y = 500$ Mpa, maka dihitung;

$$\rho_{min} = \frac{0,0018 \times 420}{500} = 0,0015$$

Maka,

$$A_s = \rho_{min} b d$$

$$A_s = 0,0015 \times 1000 \times 145 = 217,5 \text{ mm}$$

Digunakan D10-150 mm

Syarat S. Maks sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1 adalah tidak lebih jauh dari 5 kali tebal slab atau tidak lebih jauh 450mm (disini digunakan 450 mm), maka;

S. Pasang < S maksimal

$$150 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ Pasang} &= \frac{0,25\pi\phi^2 b}{S} \\ &= \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{150} = 523,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol syarat penulangan,

As. Pasang > As Perlu

$$523,6 \text{ mm} > 217,5 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

5. Cek terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 10.6.4

$$\text{Syarat: } s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

Dan tidak melebihi dari nilai $300 \left(\frac{280}{f_y} \right)$

$$\text{Dimana } f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (500) = 333,33 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 20 \text{ mm}$$

Keterangan:

C_c : jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

F_s = tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan terjadi.

$$s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

$$s = 380 \left(\frac{280}{333,33} \right) - 2,5(20) = 269,20 \text{ mm}$$

Dan,

$$300 \left(\frac{280}{f_y} \right) = 300 \left(\frac{280}{500} \right) = 168 \text{ mm}$$

Maka

$$S_{\text{pasang}} < s$$

$$150 < 168 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

6. Kontrol Ketebalan pelat terhadap geser

Kontrol terhadap geser dilakukan pada bagian tumpuan I. Berdasarkan SNI 2837-2013 pasal 8.3.3, nilai V_u adalah

$$V_u = \frac{w_u l_n}{2} = \frac{1372,4 \times 3,675}{2} = 2521,78 \text{ Kg,}$$

Nilai V_c ditentukan berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 11.2.1.1

$$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

Dimana untuk $\lambda = 1$ (beton normal) SNI 2847-2013 Pasal 8.6.1

$$V_c = 0.17(1) \sqrt{35} (1000)(155) = 155888,71 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 (155888,71) = 116916,53 \text{ N}$$

$$= 11691,65 \text{ Kg}$$

$$\phi V_c > V_u \dots\dots\dots (\text{Memenuhi})$$

Tulangan Terpasang Lapangan

Konfigurasi penulangan pelat pada daerah lapangan adalah rangkap, dimana tulangan terpasang menerus dari tumpuan menuju lapangan. Oleh karena itu, dalam analisa kapasitas penampang pada daerah lapangan akan dianalisa menggunakan perhitungan tulangan rangkap

1. Cek momen nominal aktual

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{13239400}{0.9} = 14710444,44 \text{ Nmm}$$

Ambil harga $x \leq 0,75 x_b$ untuk mencari titik berat, dimana:

$$\begin{aligned} d &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 \\ &= 180 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10/2 \\ &= 155 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 - D \\ &= 180 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10/2 - 10 \\ &= 145 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d' = 20 + 10/2 = 25 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 500} \cdot 155 = 84,5$$

$$x \leq 0,75 \times 84,5 = 63,41 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } x = 35 \text{ mm}$$

2. Kontrol tulangan leleh,

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600 \leq f_y$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{25}{30}\right) 600 \leq 500 \text{ Mpa}$$

$$f_s' = 171,43 \text{ Mpa} \leq 500 \text{ Mpa} \rightarrow \text{tulangan tekan tidak leleh}$$

Menurut data *As Built Drawing*, pada struktur pelat S-03 terpasang menerus dari tumpuan ke lapangan, konfigurasi tulangan terpasang rangkap, D10-150

$$A_s = 0,25\pi d^2$$

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 10^2 = 50,24 \text{ mm}^2$$

S. Maksimal 3 x Tebal Slab (450 mm)

S. Maksimal pada penampang kritis 2 x Tebal Slab (2x180 = 360 mm)

SNI 03-2847-2013 Ps 10.5.4

Data penulangan terpasang adalah D10-150,

150 mm < 360 mm (*memenuhi*)

Maka,

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{0,25\pi\phi^2 b}{s} \\ = \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{150} = 523,6 \text{ mm}$$

Analisa tulangan tekan,

$$A_s' = 0,25\pi d^2$$

$$A_s' = 0,25 \times 3,14 \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}$$

$$A_s' \text{ aktual} = \frac{0,25\pi\phi^2 b}{s} \\ = \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{150} = 523,6 \text{ mm}$$

3. Kontrol Kapasitas Lentur

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y) - (A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f_c \cdot b}$$

$$a = \frac{(523,6 \times 500) - (523,6 \times 171,4)}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,78 \text{ mm}$$

$$M_n = 0,9 \cdot 0,85 \cdot a \cdot f_c' \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot f_s \cdot x \cdot (d - d')$$

$$M_n = 0,9 \cdot 0,85 \cdot 5,78 \cdot 35 \cdot 1000 \left(155 - \frac{5,78}{2}\right) + 523,6 \cdot 171,4 \cdot (155 - 25) \\ = 35220601 \text{ Nmm} \\ = 3522,06 \text{ Kgm} > 1471,04 \text{ Kgm} \quad (\text{Memenuhi})$$

4. Kontrol tulangan susut

Slab yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 persen

SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1;

Digunakan $f_y = 500 \text{ Mpa}$, maka dihitung;

$$\rho_{min} = \frac{0,0018 \times 420}{500} = 0,0015$$

Maka,

$$A_s = \rho_{min} b d$$

$$A_s = 0,0015 \times 1000 \times 145 = 217,5 \text{ mm}$$

Digunakan D10-150 mm

Syarat S. Maks sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1 adalah tidak lebih jauh dari 5 kali tebal slab atau tidak lebih jauh 450mm (disini digunakan 450 mm), maka;

$$\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$$

S. Pasang < S maksimal

$$150 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{0,25\pi\phi^2 b}{s} \\ = \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{150} = 523,6 \text{ mm}$$

Kontrol syarat penulangan,

As. Pasang > As Perlu

$$523,6 \text{ mm} > 217,5 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

5. Cek terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 10.6.4

$$\text{Syarat: } s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

Dan tidak melebihi dari nilai $300 \left(\frac{280}{f_y} \right)$

$$\text{Dimana } f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (500) = 333,33 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 20 \text{ mm}$$

Keterangan:

C_c : jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

F_s = tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan terjadi.

$$s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

$$s = 380 \left(\frac{280}{333,33} \right) - 2,5(20) = 269,20 \text{ mm}$$

Dan,

$$300 \left(\frac{280}{f_y} \right) = 300 \left(\frac{280}{500} \right) = 168 \text{ mm}$$

Maka

$$S_{\text{pasang}} < s$$

$$150 < 168 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Tulangan Terpasang Tumpuan II

1. Cek momen nominal aktual

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{16850000}{0.9} = 18722222,22 \text{ Nmm}$$

Ambil harga $x \leq 0,75 x_b$ untuk mencari titik berat, dimana:

$$\begin{aligned} d &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 \\ &= 180 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10/2 \\ &= 155 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 - D \\ &= 180 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10/2 - 10 \\ &= 145 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d' = 20 + 10/2 = 25 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 500} \cdot 155 = 84,51$$

$$x \leq 0,75 x_b = 63,41 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } x = 35 \text{ mm}$$

2. Kontrol tulangan leleh,

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600 \leq f_y$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{25}{30}\right) 600 \leq 500 \text{ Mpa}$$

$$f_s' = 171,43 \text{ Mpa} \leq 500 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{tulangan tekan tidak leleh}$$

Menurut data *As Built Drawing*, pada struktur pelat S-03 konfigurasi tulangan terpasang rangkap, D10-150

$$A_s = 0,25\pi d^2$$

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

S. Maksimal 3 x Tebal Slab (450 mm)

S. Maksimal pada penampang kritis 2 x Tebal Slab (2x180 = 360 mm)

SNI 03-2847-2013 Ps 10.5.4

Data penulangan terpasang adalah D10-150,

150 mm < 360 mm (*memenuhi*)

Maka,

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{0,25\pi\phi^2 b}{s} \\ = \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{150} = 523,6 \text{ mm}$$

Analisa tulangan tekan,

$$A_s' = 0,25\pi d^2$$

$$A_s' = 0,25 \times 3,14 \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}$$

$$A_s' \text{ aktual} = \frac{0,25\pi\phi^2 b}{s} \\ = \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{150} = 523,6 \text{ mm}$$

6. Kontrol Kapasitas Lentur

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y) - (A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f_c \cdot b}$$

$$a = \frac{(523,6 \times 500) - (523,6 \times 171,4)}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,78 \text{ mm}$$

$$M_n = 0,9 \cdot 0,85 \cdot a \cdot f_c' \cdot b \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \cdot f_s \cdot x (d - d')$$

$$M_n = 0,9 \cdot 0,85 \cdot 5,78 \cdot 35 \cdot 1000 \left(155 - \frac{5,78}{2} \right) + 523,6 \cdot 171,4 \cdot (155 - 25) \\ = 35220601 \text{ Nmm} \\ = 3522,06 \text{ Kgm} > 1872,22 \text{ Kgm (Memenuhi)}$$

3. Kontrol tulangan susut

Slab yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 persen

SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1;

Digunakan $f_y = 500 \text{ Mpa}$, maka dihitung;

$$\rho_{min} = \frac{0,0018 \times 420}{500} = 0,0015$$

Maka,

$$A_s = \rho_{min} b d$$

$$A_s = 0,0015 \times 1000 \times 145 = 217,5 \text{ mm}$$

Digunakan D10-150 mm

$$\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$$

Syarat S. Maks sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1 adalah tidak lebih jauh dari 5 kali tebal slab atau tidak lebih jauh 450mm (disini digunakan 450 mm), maka;

S. Pasang < S maksimal

$$150 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{0,25\pi\phi^2 b}{S}$$

$$= \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{150} = 523,6 \text{ mm}$$

Kontrol syarat penulangan,

As. Pasang > As Perlu

$$523,6 \text{ mm} > 217,5 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

4. Cek terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 10.6.4

$$\text{Syarat: } s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

Dan tidak melebihi dari nilai $300 \left(\frac{280}{f_y} \right)$

$$\text{Dimana } f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (500) = 333,33 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 20 \text{ mm}$$

Keterangan:

C_c : jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

F_s = tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan terjadi.

$$s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

$$s = 380 \left(\frac{280}{333,33} \right) - 2,5(20) = 269,20 \text{ mm}$$

Dan,

$$300 \left(\frac{280}{f_y} \right) = 300 \left(\frac{280}{500} \right) = 168 \text{ mm}$$

Maka

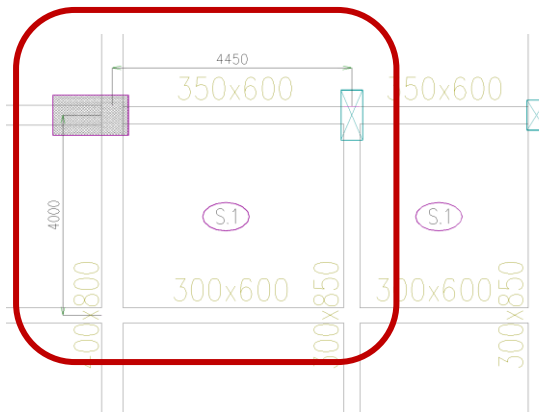
$$S_{\text{pasang}} < s$$

$$150 < 168 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

5.2.1.4 Analisa Struktur Pelat lantai 2 arah

Dalam melakukan analisa struktur pelat lantai 2 arah ini, pembebanan yang dilakukan akan tetap seperti contoh perhitungan pelat lantai 1 arah. Pelat 2 arah yang ditinjau berada pada Lobby di lantai 2 pada As 4-5:E-F



Gambar 5. 2 Denah Pelat Lantai S-01

Beban Mati

- Berat sendiri = t. pelat x γ.Beton

$$= 0,13 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 312 \text{ Kg/m}^2$$
- Beban Keramik $= 30 \text{ Kg/m}^2$
- Beban Spesi $= 5 \text{ Kg/m}^2$
- Beban Ducting dan Mekanikal $= 19 \text{ Kg/m}^2$
- Beban Plafond dan Penggantung $= 8 \text{ Kg/m}^2$

Q_{DL}

$$= 374 \text{ Kg/m}^2$$

Beban Hidup

- Beban hidup lantai hunian $= 4,79 \text{ KN/m}^2$
 $\mathbf{Q_{LL} = 488 \text{ Kg/m}^2}$

Beban Ultimit

$$\begin{aligned} \text{Qu1} &= 1,4 \text{ qDL} = 1,4 \times 374 \text{ Kg/m}^2 = 523,6 \text{ Kg/m}^2 \\ \text{Qu2} &= 1,2 \text{ qDL} + 1,6 \text{ Qll} \\ &= 1,2 \times 374 \text{ Kg/m}^2 + 1,6 \times 488 \text{ Kg/m}^2 \\ &= 1229,6 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$Ly = 4450 - \left(\frac{400}{2} + \frac{300}{2} \right) = 4100 \text{ mm}$$

$$Lx = 4000 - \left(\frac{350}{2} + \frac{300}{2} \right) = 3675 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{Ly}{Lx} = \frac{4100}{3675} = 1,115 > 2 \text{ (Pelat 2 Arah)}$$

Analisa momen pada pelat lantai 2 arah mengikuti perencanaan dan kaidah sesuai dengan PBI 71. Namun, hasil dari kalkulasi manual menggunakan PBI 71 selanjutnya akan dibandingkan dengan momen pada SAP 2000, dan akan diambil momen yang paling terbesar.

Dengan menggunakan koefisien momen PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen sebagai berikut: ($Ly/Lx = 1,115$)

$$Mlx = 0.001 \cdot qu \cdot Lx^2 \cdot X$$

$$Mtx = -0.001 \cdot qu \cdot Lx^2 \cdot X$$

$$Mly = 0.001 \cdot qu \cdot Lx^2 \cdot X$$

$$Mty = -0.001 \cdot qu \cdot Lx^2 \cdot X$$

Dimana :

Mlx = Momen lapangan arah x

Mly = Momen lapangan arah y

Mtx = Momen tumpuan arah x

Mty = Momen tumpuan arah y

X = Konstanta perbandingan Lx/Ly

$\beta = 1,115$ (pelat dianggap terjepit penuh)

Penentuan nilai konstanta X,

$$X (Mlx) = 26,5$$

$$X (Mtx) = 67$$

$$X (Mly) = 20,5$$

$$X (Mty) = 55$$

Penentuan besarnya momen pada pelat

$$\begin{aligned} - \quad Mlx &= 0,001 \times Qu \times Lx^2 \times X \\ &= 0,001 \times 1229,6 \times (3,675)^2 \times 26,5 \\ &= 440,1 \text{ kgm} \\ - \quad Mtx &= 0,001 \times Qu \times Lx^2 \times X \\ &= 0,001 \times 1229,6 \times (3,675)^2 \times 67 \\ &= 1112,64 \text{ kgm} \\ - \quad Mly &= 0,001 \times Qu \times Lx^2 \times X \\ &= 0,001 \times 1229,6 \times (3,675)^2 \times 20,5 \\ &= 340,44 \text{ kgm} \\ - \quad Mty &= 0,001 \times Qu \times Lx^2 \times X \\ &= 0,001 \times 1229,6 \times (3,675)^2 \times 55 \\ &= 913,36 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Analisa Penulangan

Tulangan Tumpuan Arah X

1. Cek momen nominal aktual

$$M_n = \frac{M_{tx}}{\phi} = \frac{11126400}{0.9} = 12362666,67 \text{ Nmm}$$

Ambil harga $x \leq 0,75 x_b$ untuk mencari titik berat, dimana:

$$\begin{aligned} d &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 \\ &= 130 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10/2 \\ &= 105 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 - D \\ &= 130 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10/2 - 10 \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d' = 20 + 10/2 = 25 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 500} \cdot 105 = 57,3 \text{ mm}$$

$$x \leq 0,75 \times 84,5 = 42,95 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } x = 30 \text{ mm}$$

2. Kontrol tulangan leleh,

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600 \leq f_y$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{25}{30}\right) 600 \leq 500 \text{ Mpa}$$

$$f_s' = 100 \text{ Mpa} \leq 500 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{tulangan tekan tidak leleh}$$

Menurut data *As Built Drawing*, pada struktur pelat S-01 daerah tumpuan arah X, konfigurasi tulangan terpasang adalah D10-300 + D10-300, maka untuk jarak antar tulangan diambil 150 mm.

$$A_s = 0,25\pi d^2$$

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}$$

S. Maksimal 3 x Tebal Slab (390 mm)

S. Maksimal pada penampang kritis 2 x Tebal Slab (2x130 = 260 mm)

SNI 03-2847-2013 Ps 10.5.4

Data penulangan terpasang adalah D10-150,

150 mm < 260 mm (*memenuhi*)

Maka,

$$\begin{aligned} A_s \text{ Pasang} &= \frac{0,25\pi\phi^2 b}{S} = \\ &= \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{150} = 523,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Analisa pada tulangan tekan perlu dilakukan

$$A_s' = 0,25\pi d^2$$

$$A_s' = 0,25 \times 3,14 \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ aktual} &= \frac{0,25\pi\phi^2 b}{S} \\ &= \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{150} = 523,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Kontrol Kapasitas Lentur

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y) - (A'_s - f'_s)}{0,85 \cdot f_c \cdot b}$$

$$a = \frac{(523,6 \times 500) - (523,6 \times 100)}{0,85 \times 35 \times 1000} = 7,04 \text{ mm}$$

$$M_n = 0,9 \cdot 0,85 \cdot a \cdot f'_c \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s \cdot f'_s \cdot x \cdot (d - d')$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,9 \cdot 0,85 \cdot 7,04 \cdot 35 \cdot 1000 \cdot \left(105 - \frac{7,04}{2}\right) + 523,6 \cdot 100 \cdot (105 - 25) \\ &= 23317321 \text{ Nmm} \\ &= 2331,73 \text{ Kgm} > 1232,266 \text{ Kgm} \quad (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

4. Cek terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 10.6.4

$$\text{Syarat: } s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

$$\text{Dan tidak melebihi dari nilai } 300 \left(\frac{280}{f_y} \right)$$

$$\text{Dimana } f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (500) = 333,33 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 20 \text{ mm}$$

Keterangan:

C_c : jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

F_s = tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan terjadi.

$$s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

$$s = 380 \left(\frac{280}{333,33} \right) - 2,5(20) = 269,20 \text{ mm}$$

Dan,

$$300 \left(\frac{280}{f_y} \right) = 300 \left(\frac{280}{500} \right) = 168 \text{ mm}$$

Maka

$$S_{\text{pasang}} < s$$

$$150 < 168 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

5. Kontrol Ketebalan pelat terhadap geser

Kontrol terhadap geser dilakukan pada bagian tumpuan I. Berdasarkan SNI 2837-2013 pasal 8.3.3, nilai V_u adalah

$$V_u = \frac{w_u l_n}{2} = \frac{1229,6 \times 3,675}{2} = 2259,39 \text{ Kg,}$$

Nilai V_c ditentukan berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 11.2.1.1

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

Dimana untuk $\lambda = 1$ (beton normal) SNI 2847-2013 Pasal 8.6.1

$$V_c = 0,17(1) \sqrt{35} (1000)(105) = 105602,02 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 (155888,71) = 10560,20 \text{ kg}$$

$$= 7920,15$$

$$\phi V_c > V_u \dots\dots\dots (\text{Memenuhi})$$

Tulangan Lapangan Arah X

Menghitung tebal efektif Pelat (d)

$$\begin{aligned} d &= \text{T. Pelat} - \text{T. Decking} - D/2 \\ &= 130 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10/2 \\ &= 105 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= \text{T. Pelat} - \text{T. Decking} - D - D/2 \\ &= 130 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 - 10/2 \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

1. Menentukan kebutuhan tulangan arah X

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{500} = 0,0028$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,026$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,0195$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = 16,80$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{4401000}{0,9} = 4890000$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{4890000}{1000 \times 105^2} = 0,44 \text{ N/mm}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{16,8} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,8 \times 0,44}{500}} \right]$$

$$= 0,00088$$

Syarat $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0028 < 0,00088 < 0,0195 \quad \text{Not OK}$$

Maka ρ analitis harus diperbesar 30%, sehingga diperoleh, ρ . Analitis $\times 1,3 = 0,00088 \times 1,3 = 0,00115$ maka digunakan ρ_{\min}

Maka,

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b d \\ &= 0,0028 \times 1000 \text{ mm} \times 105 \text{ mm} \\ &= 294 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{f_c \cdot b \cdot 0,85} = \frac{294 \times 500}{35 \times 1000 \times 0,85} = 4,94 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{4,94}{0,8} = 6,17$$

$$\frac{3}{8}d = \frac{3}{8} \times 105 = 39,375$$

$$c < \frac{3}{8}d \dots (\text{Tension controlled})$$

3. Kontrol Penulangan

Menurut data *As Built Drawing*, pada struktur pelat S-01, dipasang D10-400+D10-400, jarak tulangan dianggap 200.

$$A_s = 0,25\pi d^2$$

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}$$

S. Maksimal 3 x Tebal Slab (390 mm)

S. Maksimal pada penampang kritis 2 x Tebal Slab (2x130 = 260 mm)

SNI 03-2847-2013 Ps 10.5.4

Data penulangan terpasang adalah D10-200,
200 mm < 260 mm (Memenuhi)

Maka,

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{0,25\pi\phi^2 b}{S} =$$

$$= \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{200} = 392,7 \text{ mm}$$

Kontrol syarat penulangan,

As. Pasang > As Perlu

392,7 mm > 294 mm (Memenuhi)

Cek syarat penulangan minimum berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$A_s = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} \cdot b_w \cdot d$$

$$= \frac{0,25\sqrt{35}}{500} \times 1000 \times 105 = 310,6 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{1,4}{f_y} \cdot b_w \cdot d = A_s = \frac{1,4}{500} \cdot 1000 \cdot 105 = 294 \text{ mm}$$

$A_s \text{ minimum} > A_s \text{ pasang}$, (Memenuhi)

4. Kontrol Kapasitas Lentur

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b}$$

$$a = \frac{392,7 \times 500}{0,85 \times 35 \times 1000} = 6,6 \text{ mm}$$

$$M_n = 0,9 f_y A_s \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 0,9 \times 500 \times 392,7 \left(105 - \frac{6,6}{2} \right)$$

$$= 1797,2 \text{ Nmm}$$

$$= 1797,2 \text{ Kgm} > 489 \text{ Kgm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Tulangan Tumpuan Arah Y

Menghitung tebal efektif Pelat (d_y)

$$d_y = T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D - D/2$$

$$= 130 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 - 10/2$$

$$= 95 \text{ mm}$$

1. Cek momen nominal aktual

$$M_n = \frac{M_{tx}}{\phi} = \frac{9133600}{0.9} = 10148444,44 \text{ Nmm}$$

Ambil harga $x \leq 0,75 x_b$ untuk mencari titik berat, dimana:

$$\begin{aligned} d &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 \\ &= 130 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10/2 \\ &= 105 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 - D \\ &= 130 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10/2 - 10 \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d' = 20 + 10/2 = 25 \text{ mm}$$

$$d_y' = 20 + 10 + 10/2 = 30$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 500} \cdot 95 = 51,81 \text{ mm}$$

$$x \leq 0,75 \times 51,81 = 38,86 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } x = 33 \text{ mm}$$

2. Kontrol tulangan leleh,

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600 \leq f_y$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{30}{33}\right) 600 \leq 500 \text{ Mpa}$$

$$f_s' = 145,45 \text{ Mpa} \leq 500 \text{ Mpa} \rightarrow \text{tulangan tekan tidak leleh}$$

Menurut data *As Built Drawing*, pada struktur pelat S-01 daerah tumpuan arah Y, konfigurasi tulangan terpasang adalah D10-450 + D10-450, maka untuk jarak antar tulangan diambil 225 mm.

$$A_s = 0,25\pi d^2$$

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

S. Maksimal 3 x Tebal Slab (390 mm)

S. Maksimal pada penampang kritis 2 x Tebal Slab (2x130 = 260 mm)

SNI 03-2847-2013 Ps 10.5.4

Data penulangan terpasang adalah D10-225,

225 mm < 260 mm (*memenuhi*)

Maka,

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{0,25\pi\phi^2 b}{S} = \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{225} = 349,07 \text{ mm}$$

Analisa pada tulangan tekan perlu dilakukan

$$A_s' = 0,25\pi d^2$$

$$A_s' = 0,25 \times 3,14 \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}$$

$$A_s' \text{ aktual} = \frac{0,25\pi\phi^2 b}{S} = \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{225} = 349,07 \text{ mm}$$

3. Kontrol Kapasitas Lentur

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y) - (A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f_c \cdot b}$$

$$a = \frac{(349,07 \times 500) - (349,07 \times 145,45)}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,86 \text{ mm}$$

$$M_n = 0,9 \cdot 0,85 \cdot a \cdot f_c' \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot f_s \cdot (d - d')$$

$$M_n = 0,9 \cdot 0,85 \cdot 5,86 \cdot 35 \cdot 1000 \left(95 - \frac{5,86}{2}\right) + 349,07 \cdot 54,54 \cdot (95 - 30)$$

$$= 15699981 \text{ Nmm}$$

$$= 1552,54 \text{ Kgm} > 1014,84 \text{ Kgm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Selanjutnya akan dilakukan rekapitulasi terhadap perhitungan kapasitas pelat terhadap momen lentur yang terjadi, rekapitulasi akan disediakan dalam bentuk tabel.

5.2.1.5 Rekapitulasi Pelat Lantai 1 arah

Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn	Mn Lap	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm	Kgm	Kgm	Kgm	Kgm	Kgm	
GF	A'-A:1-2	S.3-B1	10100	4500	2991.9	2447.51	1682.66	3522.06	3522.06	Safe
	A'-B':2"-3	S.2-A3	4500	4410	2660.8	2585.21	1100.34	2841.57	1357.26	Safe
	A'-B':4-5	S.3-E1	4500	4425	2535.7	2415.3	1075.5	3522.06	3522.06	Safe

Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M.Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn	Mn. Lap	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm	Kgm	Kgm	Kgm	Kgm	Kgm	
2	G-H':3-4	S.3-D1	10675	4685	3260.73	2667.87	2096.19	3522.06	3522.06	Safe
	H"-I:3-4	S.2-D1	7160	5315	2868.6	2302.95	1090.7	2841.57	2841.57	Not Safe
	C-D:2"-3	S.1-C1	4400	5000	1139.76	1025.61	488.95	2370.33	1797.2	Safe
	E-F:2'''-3	S.1-C2	8050	2400	426.88	349.27	272.43	2370.33	1797.2	Safe

Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M.Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn	Mn. Lap	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm	Kgm	Kgm	Kgm	Kgm	Kgm	
P1.A	H-I:3-4	S.3-D1	10725	5640	2662.46	2177.55	1710.94	3522.06	3522.06	Safe
	H-I:4-5	S.3-E1	5640	3675	873.54	646.65	642.42	3522.06	3522.06	Safe
	C-D:2"-3	S.1-C1	5300	4700	1870.14	1644.8	784.67	2370.33	1797.2	Safe

Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M.Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn	Mn. Lap	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm	Kgm	Kgm	Kgm	Kgm	Kgm	
P1	A'-A:1-2	S.3-A1	9880	4200	2308.92	1889.11	1484.31	3522.06	3522.06	Safe
	H"-I:3-4	S.2-D1	4560	3375	1104.92	887.05	482.43	2841.57	2841.57	Safe
	J-K:1-2	S.3-C1	4860	3675	1457.16	1051.52	682.72	3522.06	3522.06	Safe

Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M.Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn	Mn. Lap	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm	Kgm	Kgm	Kgm	Kgm	Kgm	
P3. Mezz	A'-A:0-1	S.3-A1	9500	4575	3099.85	2535.70	1992.33	3522.06	3522.06	Safe
	F-G:1-2	S.5-A1	4975	4400	2660.58	2585.21	1092.15	5197.76	5197.76	Safe
	G-H:2'-2"	S.1-B2	3550	3200	922.08	843.48	375.8	2370.33	1797.2	Safe
	J-K:1-2	S.3-A3	9075	4615	2697.98	1852.31	1124.11	3522.06	3522.06	Safe
	F-G:1-2	S.5-A2	11075	4325	3150.53	2577.7	2025.33	5197.76	5197.76	Safe

Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M.Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn	Mn. Lap	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm	Kgm	Kgm	Kgm	Kgm	Kgm	
3	A-B':2-2"	S.2-A1	7150	6250	2421.75	2148.24	1035.2	2841.57	2841.57	Safe
	B-D:2"-3	S.1-C1	4800	3725	957.42	790.91	430.14	2370.33	1797.2	Safe
	B-D:3-4	S.3-D1	11075	6350	3268.3	2298.38	1572.57	3522.06	3522.06	Safe
	B-D:4-5	S.2-E1	6350	3875	1201.25	855.59	563.09	2841.57	2841.57	Safe
	G-H':1-2	S.5-A1	11075	5025	3249	2658.27	2088.65	5197.76	1797.2	Safe
	J-K:1-2	S.2-A2	11075	5350	2924.28	2392.6	1879.8	2841.57	2841.57	Not Safe

Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M.Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn	Mn. Lap	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm						
4	A-B':1-2	S.1-A1	5900	4290	1367.5	1082.61	626.77	2370.33	1797.2	Safe
	I-J:3-4	S.3-D1	11075	6450	3520.57	2447.22	1717.53	3522.06	3522.06	Safe
	J-K:3-4	S.3-D2	11075	5350	3196.31	2615.15	2054.77	3522.06	3522.06	Safe
	J-K:4-5	S.2-C1	8140	5350	2453.75	1840.31	1162.31	2841.57	2841.57	Safe
	F-G:3-4	S.2-A1	11075	4550	2071.16	1694.59	1331.46	2841.57	2841.57	Safe
Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M.Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn	Mn. Lap	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm						
5	A-B':1-2	S.2-A1	10425	5115	2658.46	2175.10	1498.35	2841.57	2841.57	Not Safe
	A-B:2-2'''	S.2-A2	7150	6125	2439.11	2187.41	1045.33	2841.57	2841.57	Safe
	E-F:3-4	S.2-D2	11075	4325	1857.57	1519.91	1194.22	2841.47	2841.57	Safe
	I-J:3-4	S.3-D3	11075	6450	3520.57	2447.22	1717.5	3522.06	3522.06	Safe
	E-F':2-2'	S1-B1	5225	3400	1590.97	1092.59	779.46	2370.33	1797.2	Safe
Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M.Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn	Mn. Lap	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm						
6	J-K:1-2	S.2-A1	10425	5115	2658.46	2175.10	1498.4	2841.57	2841.57	Safe
	A-B:2-2'''	S.2-A2	7150	6125	2439.11	2187.41	1045.3	2841.57	2841.57	Safe
	J-K:3-4	S.3-D1	11075	6215	3103.4	2131.24	1495.61	3522.06	3522.06	Safe
	E-F:2'''-3	S.1-B1	8450	2750	650.61	528.22	363.15	2370.33	1797.2	Safe
	E-F':2-2'	S1-B2	5225	3400	704.97	633.94	303.13	2370.33	1797.2	Safe

Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M.Tump 1 Kgm	M.Tump 2 Kgm	M. Lap Kgm	Mn Kgm	Mn. Lap Kgm	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm						
7th - 28th	J-K:1-2	S.2-A1	11075	5350	2924.28	2392.60	1879.8	2841.57	2841.57	Not Safe
	A-B:2-2'''	S.2-A2	7150	6125	2439.11	2187.41	1045.3	2841.57	2841.57	Safe
	J-K:3-4	S.3-D1	11075	6215	3103.4	2131.24	1495.61	3522.06	3522.06	Safe
	E-F:2'''-3	S.1-B1	8450	2750	650.61	528.22	363.15	2370.33	1797.2	Safe
	E-F:2-2'	S1-B2	5225	3400	1590.97	1092.59	779.46	2370.33	1797.2	Safe
Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M.Tump 1 Kgm	M.Tump 2 Kgm	M. Lap Kgm	Mn Kgm	Mn. Lap Kgm	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm						
29th	A-B:2-2'''	S.2-A2	7150	6125	2439.11	2187.41	1045.3	2841.57	2841.57	Safe
	A-B:1-2	S.2-A1	10225	4640	2159.51	1767.12	1214.89	2841.57	2841.57	Safe
	E-F:2'''-3	S.1-B1	8450	2750	650.475	528.22	363.15	2370.33	1797.2	Safe
	F-G:3-4	S.1-B2	7100	4300	1039.76	925.61	458.95	2370.33	1797.2	Safe
Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M.Tump 1 Kgm	M.Tump 2 Kgm	M. Lap Kgm	Mn Kgm	Mn. Lap Kgm	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm						
30th	A-B:1-2	S.2-A1	10225	4540	2061.43	1686.63	1159.55	2841.57	2841.57	Safe
	A-B:2-2''	S.2-A2	7150	6375	711.91	500.9	333.98	2841.57	2841.57	Safe
	C'-D:3-4	S.1-C1	11075	3865	1465.52	1199.05	824.35	2370.33	1797.2	Safe
	E-F':2'-2''	S.1-B1	5625	3415	689.13	574.23	298.17	2370.33	1797.2	Safe

Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M.Tump 1 Kgm	M.Tump 2 Kgm	M. Lap Kgm	Mn Kgm	Mn. Lap Kgm	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm						
A1	A-B':2-2"	S.4-A1	5960	4450	1699.53	1345.64	755.35	4019.67	4019.67	Safe
	A-B:3-4	S.2-A1	10725	4125	711.91	500.9	333.98	2841.57	2841.57	Safe
	E-F'1-2	S.4-A2	10725	4365	2919.68	2388.83	1642.32	4019.67	4019.67	Safe
	D-E:2-2'	S.3-B1	6365	3200	1426.17	1166.87	802.22	3522.06	3522.06	Safe
	F-G':2'-2'''	S.3-B2	5950	3195	1513.97	1072.59	679.46	3522.06	3522.06	Safe

5.2.1.6 Kesimpulan Analisa Pelat Lantai

6 Analisa pembebanan

Berdasarkan hasil analisa pelat lantai, pada beberapa elemen pelat besarnya momen melebihi dari kapasitas, salah satu penyebab yang mungkin terjadi adalah perbedaan beban pada SNI 1727-2013 dan PPIUG 83. Pada jenis beban hidup yang ditinjau, sesuai dengan PPIUG, besarnya beban sesuai dengan tabel dibawah ini.

Tabel 5.2 Beban Hidup Sesuai PPIUG 1983

a.	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b	200 kg/m ²
b.	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125 kg/m ²
c.	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250 kg/m ²
d.	Lantai ruang olah raga	400 kg/m ²
e.	Lantai ruang dansa	500 kg/m ²
f.	Lantai dan balkon-dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain dari pada yang disebut dalam a s/d e, seperti mesjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400 kg/m ²
g.	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	500 kg/m ²
h.	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	300 kg/m ²
i.	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f dan g	500 kg/m ²
j.	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f dan g	250 kg/m ²
k.	Lantai untuk: 'pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	400 kg/m ²
l.	Lantai gedung parkir bertingkat:	
	— untuk lantai bawah	800 kg/m ²
	— untuk lantai tingkat lainnya	400 kg/m ²

Selanjutnya akan diambil 1 contoh rekapitulasi pada pelat lantai di lantai 3 dengan menggunakan beban yang berbeda, diperoleh

Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M.Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn	Mn. Lap	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm						
3	A-B':2-2"	S.2-A1	7150	6250	2421.75	2148.24	1035.2	2841.57	2841.57	Safe
	B-D:2"-3	S.1-C1	4800	3725	957.42	790.91	430.14	2370.33	1797.2	Safe
	B-D:3-4	S.3-D1	11075	6350	3268.3	2298.38	1572.57	3522.06	3522.06	Safe
	B-D:4-5	S.2-E1	6350	3875	1201.25	855.59	563.09	2841.57	2841.57	Safe
	G-H':1-2	S.5-A1	11075	5025	3249	2658.27	2088.65	5197.76	1797.2	Safe
	J-K:1-2	S.2-A2	11075	5350	2924.28	2392.6	1879.8	2841.57	2841.57	Not Safe

Lantai	Lokasi As	Type Pelat	Bentang		M.Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn	Mn. Lap	Keterangan
			Ly'	Lx'						
			mm	mm						
3	A-B':2-2"	S.2-A1	7150	6250	2421.75	2148.24	1035.2	2841.57	2841.57	Safe
	B-D:2"-3	S.1-C1	4800	3725	957.42	790.91	430.14	2370.33	1797.2	Safe
	B-D:3-4	S.3-D1	11075	6350	3268.3	2298.38	1572.57	3522.06	3522.06	Safe
	B-D:4-5	S.2-E1	6350	3875	1201.25	855.59	563.09	2841.57	2841.57	Safe
	G-H':1-2	S.5-A1	11075	5025	3249	2658.27	2088.65	5197.76	1797.2	Safe
	J-K:1-2	S.2-A2	11075	5350	2601.88	1463.56	1879.8	2841.57	2841.57	Safe

Dari hasil analisa diatas menggunakan beban yang berbeda, pada pelat yang ditinjau, diperoleh nilai kapasitas momen memenuhi kapasitas yang ada. Dari hasil analisa diatas, dapat disimpulkan bahwa beban yang digunakan pada analisa struktur adalah menggunakan PPIUG 83.

7 Analisa Penulangan

Selain dari analisa pembebanan yang berbeda, terdapat beberapa usulan yang dapat digunakan untuk mengatasi kapasitas pelat yang tidak memenuhi. Beberapa diantaranya adalah dengan perubahan pada konfigurasi penulangan. Pada beberapa jenis pelat, tulangan terpasang dengan jarak $\pm 150 \text{ mm} - 200 \text{ mm}$, dari konfigurasi tersebut beberapa kapasitas pelat tidak memenuhi momen yang terjadi. Sehingga salah satu usulan yang dapat dilakukan adalah dengan merapatkan

konfigurasi pelat, menjadi $\pm 125 \text{ mm} - 150 \text{ mm}$, sehingga kapasitas momen pelat akan menjadi lebih besar dan mampu menahan besarnya momen yang terjadi sesuai dengan pembebanan menggunakan SNI 1727-2013.

5.2.2 Analisa Struktur Tangga

Evaluasi pada struktur tangga meliputi evaluasi terhadap penampang pelat tangga, pelat bordes, dan balok bordes. Sebagai contoh perhitungan akan ditinjau tangga yang menghubungkan antara lantai dasar dan lantai 2.

Spesifikasi teknik pelat tangga dan bordes yang akan dianalisa adalah sebagai berikut:

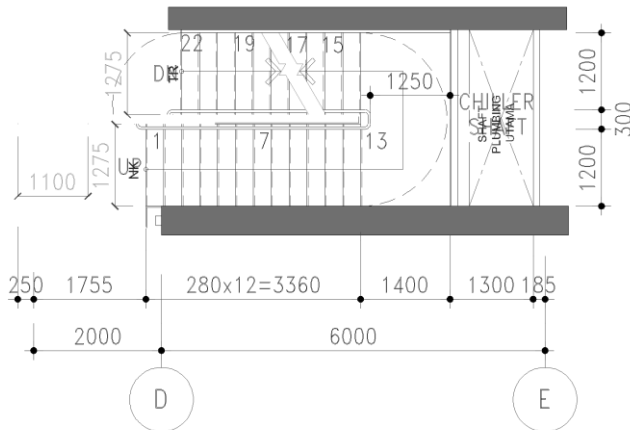
Mutu beton (f'_c) = 35 Mpa

$$\beta_1 = 0.85 - \left(\frac{28-35}{28-35} \right) (0.85 - 0.8) = 0.8$$

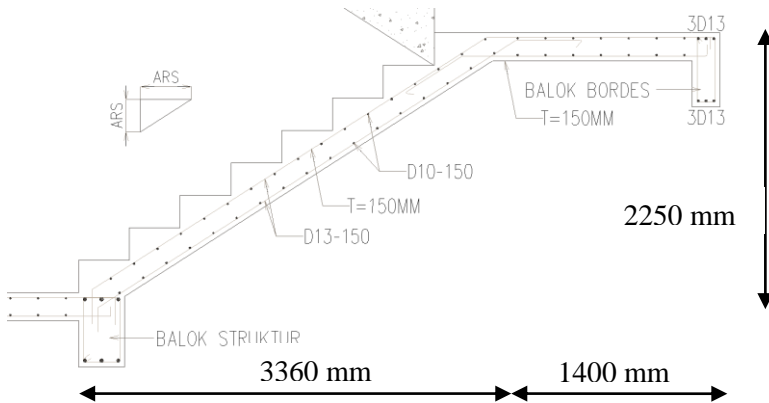
(SNI 2847:2013, Pasal 10.2.7.3)

Tul D13 dan D10, $f_y = 400$ Mpa

Tebal Pelat = 150 mm; Selimut Beton = 20 mm



Gambar 5. 3 Denah Tangga



Gambar 5. 4 Gambar Potongan Tangga

Lebar Injakan = 27,5 cm

Tinggi Tanjakan = 17,5 cm

Syarat kemiringan tangga

$$\tan \alpha = \frac{y}{x} = \frac{2250}{3360} = 0,67; \alpha = 33,8^\circ$$

$$25^\circ < 33,8^\circ < 40^\circ$$

(Memenuhi)

$$60 < (2t + i) \leq 65$$

$$60 < (2 \times 17,5 + 27,5) \leq 65$$

$$60 < 62,5 \leq 65$$

(Memenuhi)

Tebal efektif pelat tangga

$$\text{Luas } \Delta 1 = 0,5 \times i \times t = 0,5 \times 27,5 \times 17,5 = 240,63 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas } \Delta 2 = 0,5 \times (i^2 + t^2)^{0,5} \cdot d$$

$$= 0,5 \times (27,5^2 + 17,5^2)^{0,5} \cdot d = 16,3d$$

$$\text{Persamaan luas } \Delta 1 = \text{luas } \Delta 2$$

$$240,63 = 16,3d$$

$$d = 14,76 \text{ cm}$$

$$0,5d = 7,38 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi efektif pelat} = 15 \text{ cm} + 7,38 \text{ cm} = 22,4 \text{ cm}$$

5.2.2.1 Pembebanan Struktur Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Pelat Tangga dan Pelat bordes umumnya menerima beban yang sama, yaitu kombinasi beban ultimit dari beban mati dan beban hidup.

Pelat Tangga

Beban Mati

- Berat sendiri = $\frac{t_{\text{pelatefektif}}}{\cos \alpha} \times \gamma_{\text{Beton}} \times \text{lebar tangga}$

$$= \frac{0,224}{\cos 33,8} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 \times 1,275$$

$$= 824,85 \text{ Kg/m}$$
- Beban Keramik dan Spesi = $35 \text{ Kg/m}^2 \times 1,275 \text{ m}$

$$= 44,62 \text{ Kg/m}$$

$$W_{\text{DL}} = 869,47 \text{ Kg/m}$$

Beban Hidup

$$\begin{aligned} \text{Beban Hidup lantai tangga} &= 479 \text{ Kg/m}^2 \\ w_{LL} = q_{LL} \times \text{Lebar Pelat Lantai} & \\ = 479 \text{ Kg/m}^2 \times 1,275 \text{ m} &= 610,725 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

Beban Ultimit

$$\begin{aligned} Qu1 &= 1,4 q_{\text{DL}} = 1,4 \times 869,47 \text{ Kg/m} = 1217,2 \text{ Kg/m} \\ Qu2 &= 1,2 q_{\text{DL}} + 1,6 Q_{\text{ll}} \\ &= 1,2 \times 869,47 \text{ Kg/m} + 1,6 \times 610,725 \text{ Kg/m} \\ &= 2020,53 \text{ kg/m} \quad (\text{Menentukan}) \end{aligned}$$

Pelat Bordes

Beban Mati

- Berat sendiri = tebal pelat x γ_{Beton} x lebar

$$= 0,15 \times 2400 \text{ Kg/m}^3 \times 2,7 \text{ m}$$

$$= 972 \text{ Kg/m}$$
- Beban Keramik dan Spesi = $35 \text{ Kg/m}^2 \times 2,7 \text{ m}$

$$= 94,5 \text{ Kg/m}$$

$$W_{\text{DL}} = 1066,5 \text{ Kg/m}$$

Beban Hidup

$$\begin{aligned} \text{Beban Hidup lantai Bordes} &= 479 \text{ Kg/m}^2 \\ w_{LL} = q_{LL} \times \text{Lebar Pelat Lantai} & \end{aligned}$$

$$= 479 \text{ Kg/m}^2 \times 2,7 \text{ m} = 1293,3 \text{ Kg/m}$$

Beban Ultimit

$$Qu1 = 1,4 \text{ qDL} = 1,4 \times 1066,5 \text{ Kg/m} = 1493,1 \text{ Kg/m}$$

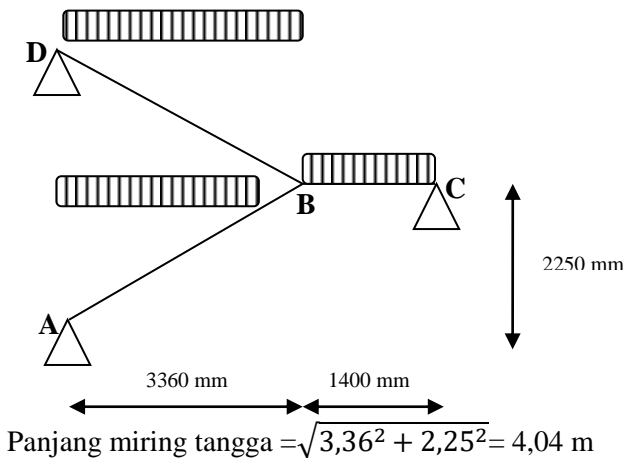
$$\begin{aligned} Qu2 &= 1,2 \text{ qDL} + 1,6 \text{ Qll} \\ &= 1,2 \times 1066,5 \text{ Kg/m} + 1,6 \times 1293,3 \text{ Kg/m} \\ &= 3349,1 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

5.2.2.2 Analisis Struktur Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Dalam analisis struktur melalui ilmu mekanika, tangga akan diasumsikan sebagai frame 2 dimensi, yang kemudian dianalisa untuk menentukan gaya – gaya dalamnya dengan perencanaan struktur statis tak tentu.

Tangga Gedung Apartemen One East Residences ini akan dimodelkan sebagai frame statis tak tentu dengan metode cross dengan kondisi perletakan berupa sendi yang diletakkan sebagai ujung dari tangga, dalam kondisi nyata umumnya berupa balok.

Mekanika Tangga Metode Cross



Metode Cross

$$\begin{aligned}\mu_{BA} : \mu_{BC} : \mu_{BD} &= \frac{3EI}{4,04} : \frac{3EI}{1,4} : \frac{3EI}{4,04} \\ &= 0,74EI : 2,14EI : 0,74EI\end{aligned}$$

$$\mu_{BC} = \frac{2,14EI}{2,14EI + 0,74EI + 0,74EI} = 0,59$$

$$\mu_{BA} = \mu_{BD} = \frac{0,74EI}{2,14EI + 0,99EI + 0,99EI} = 0,205$$

$$\text{Kontrol : } \mu_{BA} + \mu_{BC} + \mu_{BD} = 1 \quad (\text{OK})$$




Momen Primair

$$\text{MF BC} = +1/8 \cdot 3349,1 \cdot 1,4^2 = 820,53 \text{ kgm}$$

$$\text{MF BD} = -1/8 \cdot 2020,53 \cdot 3,36^2 = -2851,37 \text{ kgm}$$

$$\text{MF BA} = -1/8 \cdot 2020,53 \cdot 3,36^2 = -2851,37 \text{ kgm}$$

Tabel Cross

Titik Batang	BC	BA	BD
FD	-0,59	-0,205	-0,205
MF	820,53	-2851,37	-2851,37
MD	2880,5	1000,85	1000,85
MI	0	0	0
MD	0	0	0
M akhir	3701,03	-1850,52	-1850,52
Gambar Momen			

Kontrol Momen Akhir pada Tabel Cross

$$\sum M. \text{ Akhir} = 0$$

$$M. BC + M. BA + M. BD = 0$$

$$3701,03 - 1850,52 - 1850,52 = 0$$

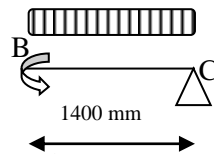
Batang BC

$$\sum M_B = 0 \quad \text{dimisalkan } V_C \uparrow$$

$$-V_C \cdot L + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 - M_{(BC)} = 0$$

$$-V_C \cdot 1,4\text{m} + \frac{1}{2} \cdot 3349,1 \text{ kg/m} \cdot (1,4\text{m})^2 - 3701,03 \text{ kgm} = 0$$

$$V_C = 299,22 \text{ kg} \quad \downarrow$$



Maka,

$$V_B = Q \cdot L + V_C = 3349,1 \text{ kg/m} \cdot 1,4 \text{ m} + 299,22 \text{ kg} = 4987,96 \text{ kg} \uparrow$$

Batang BA

$$\Sigma M_B = 0 \quad \text{dimisalkan } V_A \uparrow$$

$$V_A \cdot L - \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 + M_{(BA)} - M_{(AB)} = 0$$

$$V_A \cdot 3,36 \text{ m} - \frac{1}{2} \cdot 2020,53 \text{ kg/m} \cdot (3,36 \text{ m})^2 + 1850,52 \text{ kgm}$$

$$V_A = 2843,72 \text{ kg} \uparrow$$

Maka,

$$V_B = Q \cdot L - V_A = (2020,53 \times 3,36) - 2843,72 \text{ kg}$$

$$= 3945,26 \text{ kg} \uparrow$$

Batang BD

Untuk reaksi V_B pada batang BD, dapat diambil langsung dari reaksi penjumlahan antara reaksi V_B di batang BA dan BC, namun perlu diketahui bahwa reaksi V_B pada batang BD harus memiliki arah yang berlawanan dengan 2 reaksi V_B lainnya. Sehingga kontrol ΣV pada titik B = 0 (karena bukan merupakan perletakan)

Maka reaksi V_B pada batang BD dapat ditentukan sebagai berikut;

$$\Sigma V = 0$$

$$V_{B \cdot BD} + V_{B \cdot BA} + V_{B \cdot BC} = 0$$

$$V_{B \cdot BD} + 3945,26 + 4987,96 = 0$$

$$V_{B \cdot BD} = 8933,22 \text{ kg} \downarrow$$

Maka, reaksi V_D dapat ditentukan

$$V_D = Q \cdot L + V_B = (2020,52 \times 3,36) + 8933,22 \text{ kg}$$

$$= 15722,17 \text{ kg} \uparrow$$

Mencari M_{\max}

Batang BD

$$N_{BD} = -V_B \sin(33,8) = -8933,22 \sin(33,8) = -4969,51 \text{ kg}$$

$$D_{BD} = V_B \cos(33,8) = 8933,22 \cos(33,8) = 7423,36 \text{ kg}$$

$$D_{DB} = V_D \cos(33,8) = 15722,17 \cos(33,8) = 13064,88 \text{ kg}$$

Bidang N, D dan M

Lihat Kanan Potongan

$$NX1 = -4969,51 \text{ Kg}$$

$$X1 = 0$$

$$X1 = 3.36 \text{ m}$$

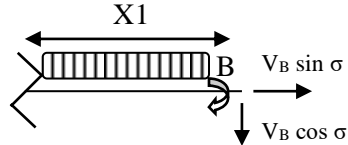
$$DX1 = 7423,36 + 2020,53 \cdot X1$$

$$DB = 7423,36$$

$$DD = 18676,33$$

$$MX1 = -7423,36 \cdot X1 - 2020,53 \cdot X1 - M_{(BD)}$$

$$M_{BD} = -1850,52 \text{ (M.Max pada batang BD)}$$



Mencari Mmax

Batang BA

$$N_{BA} = V_B \sin(33,8) = 3945,26 \sin(33,8) = 2194,73 \text{ kg}$$

$$D_{BA} = V_B \cos(33,8) = -3945,26 \cos(33,8) = -3278,45 \text{ kg}$$

$$D_{AB} = V_A \cos(33,8) = 2843,72 \cos(33,8) = 2363,09 \text{ kg}$$

Bidang N, D dan M

Lihat Kanan Potongan

$$NX2 = 2194,73 \text{ Kg}$$

$$X2 = 0$$

$$X2 = 3.36 \text{ m}$$

$$DX2 = -3278,45 + 2020,53 \cdot X1$$

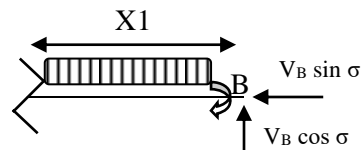
$$DB = -3278,45$$

$$DA = 7974,53$$

Pada $D = 0$, terjadi momen maximum

$$DX2 = 0$$

$$-3278,45 + 2020,53 \cdot X1 = 0$$



$X1 = 1,62 \text{ m}$ (dari titik B)

$MX2 = -3278,45.(X1) + \frac{1}{2} \cdot 2020,53 (X1) - M_{(BD)}$

$MX2 = -3278,45 (1,62) + 1010,26 (1,62) - 1850,52$

$MX2 = - 5097,19 \text{ kgm}$ (Momen Max Tangga)

Dari hasil perhitungan mekanika teknik tangga, diperoleh nilai momen yang akan disajikan dalam bentuk tabel berikut;

Letak	Momen (Kgm)
Momen Tumpuan B	3701,03 kgm
Momen Max BA	5097,2 kgm
Momen Max BD	1850,52 kgm

Momen tangga diambil terbesar, yaitu = 5097,2 kgm, sedangkan momen pada bordes diambil 3701,03 kgm, selanjutnya akan digunakan dalam hitungan analisa penulangan pelat.

FREE BODY DIAGRAM

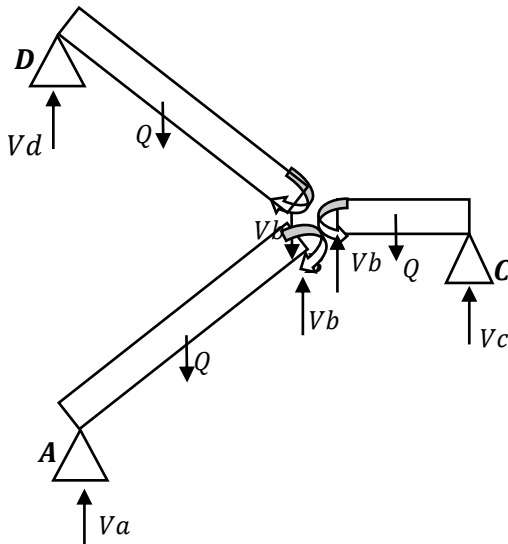


Diagram Bidang N

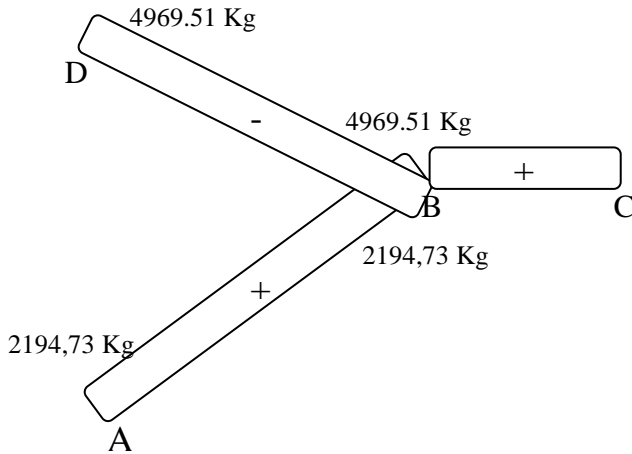


Diagram Bidang D

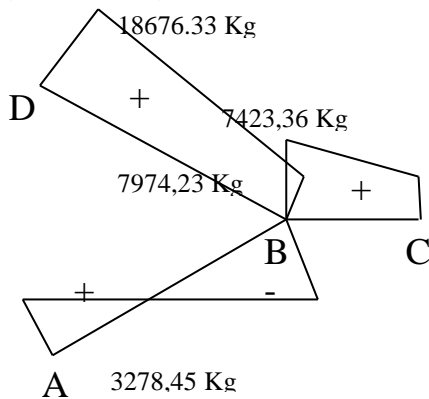
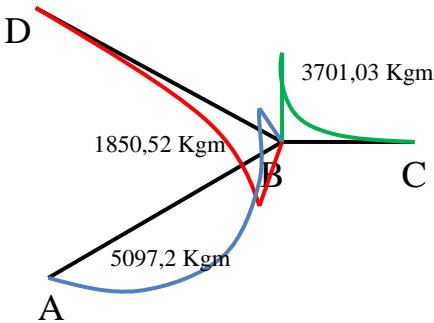


Diagram Bidang M



5.2.2.3 Analisa penulangan Pelat Tangga

1. Cek momen nominal aktual

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{50972000}{0.9} = 56635555 \text{ Nmm}$$

Ambil harga $x \leq 0,75 x_b$ untuk mencari titik berat, dimana:

$$\begin{aligned} d &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13/2 \\ &= 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 - D \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13/2 - 10 \\ &= 113,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d' = 20 + 13/2 = 26,5 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 500} \cdot 123,5 = 67,36 \text{ mm}$$

$$x \leq 0,75 \times 67,36 = 50,52 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } x = 35 \text{ mm}$$

2. Kontrol tulangan leleh,

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600 \leq f_y$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{26,5}{35}\right) 600 \leq 500 \text{ Mpa}$$

$$f_s' = 145,71 \text{ Mpa} \leq 500 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{tulangan tekan tidak leleh}$$

3. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{f_c \cdot b \cdot 0,85} = \frac{974,4 \times 500}{35 \times 1000 \times 0,85} = 16,37 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{16,37}{0,8} = 20,47$$

$$\frac{3}{8}d = \frac{3}{8} \times 123,5 = 46,31$$

$$c < \frac{3}{8}d \dots (\text{Tension controlled})$$

4. Kontrol Penulangan

Menurut data *As Built Drawing*, pada struktur pelat lantai, dipasang D13-150.

$$A_s = 0,25\pi d^2$$

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 13^2 = 132,73 \text{ mm}$$

Cek kontrol jarak tulangan berdasarkan SNI 03-2847-2013 Ps 10.5.4 bahwa jarak spasi maksimum antar tulangan slab tidak boleh melebihi dari nilai terkecil dari 3 kali tebal slab, atau 450 mm (dipakai nilai terkecil adalah 450 mm). Selanjutnya, pada pasal 13.3.2 disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari 2 kali tebal slab ($\leq 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$), jarak tulangan utama dalam tinjauan 1 m.

Data penulangan terpasang adalah D3-150,

150 m < 300 mm (*Memenuhi*)

Maka,

$$\begin{aligned} A_s \text{ Pasang} &= \frac{0,25\pi\phi^2 b}{s} = \\ &= \frac{0,25\pi \times 13^2 \times 1000}{150} = 884,88 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek syarat penulangan minimum berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{0,25\sqrt{f'_{rc}}}{f_y} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{0,25\sqrt{35}}{500} \times 1000 \times 123,5 = 365,32 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_s = \frac{1,4}{f_y} \cdot b_w \cdot d = \frac{1,4}{500} \cdot 1000 \cdot 123,5 = 345,8 \text{ mm}$$

$A_s \text{ minimum} < A_s \text{ pasang}$, (*Memenuhi*)

5. Analisa pada tulangan tekan perlu dilakukan

$$A_s' = 0,25\pi d^2$$

$$A_s' = 0,25 \times 3,14 \times 13^2 = 132,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ Pasang} &= \frac{0,25\pi\phi^2 b}{s} = \\ &= \frac{0,25\pi \times 13^2 \times 1000}{150} = 884,88 \text{ mm} \end{aligned}$$

6. Kontrol Kapasitas Lentur

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - (A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f_c \cdot b}$$

$$a = \frac{(884,88 \times 500) - (884,88 \times 145,71)}{0,85 \times 35 \times 1000} = 14,87 \text{ mm}$$

$$M_n = 0,9 \cdot A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot f_s' \cdot x(d - d')$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,9 \cdot 884,88 \cdot 500 \left(123,5 - \frac{14,87}{2}\right) + 884,88 \cdot 145,71 (123,5 - 26,5) \\ &= 45866181 \text{ Nmm} \\ &= 4586,61 \text{ Kgm} > 5663,55 \text{ Kgm} \quad (\text{Tidak Memenuhi}) \end{aligned}$$

7. Kontrol tulangan susut

Cek syarat minimum tulangan susut ditentukan berdasarkan kebutuhan tulangan minimum terhadap suhu dan susut, yang diatur pada SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1;

- a. Slab yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 persen $\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$

Digunakan $f_y = 500 \text{ Mpa}$, maka dihitung;

$$\rho_{min} = \frac{0,0018 \times 420}{500} = 0,0015$$

Maka,

$$A_s = \rho_{min} b d$$

$$A_s = 0,0015 \times 1000 \times 123,5 = 185,35 \text{ mm}$$

Digunakan D10-150 mm

Syarat S. Maks sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1 adalah tidak lebih jauh dari 5 kali tebal slab atau tidak lebih jauh 450mm (disini digunakan 450 mm), maka;

S. Pasang < S maksimal

$$150 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ Pasang} &= \frac{0,25 \pi \phi^2 b}{S} \\ &= \frac{0,25 \pi \times 10^2 \times 1000}{150} = 523,59 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol syarat penulangan,

As. Pasang > As Perlu

$$523,59 \text{ mm} > 234 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

Analisa penulangan Pelat Bordes

1. Cek momen nominal aktual

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{50972000}{0.9} = 56635555 \text{ Nmm}$$

Ambil harga $x \leq 0,75 x_b$ untuk mencari titik berat, dimana:

$$\begin{aligned} d &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13/2 \\ &= 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= T. \text{ Pelat} - T. \text{ Decking} - D/2 - D \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13/2 - 10 \\ &= 113,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d' = 20 + 13/2 = 26,5 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 500} \cdot 123,5 = 67,36 \text{ mm}$$

$$x \leq 0,75 \times 67,36 = 50,52 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } x = 35 \text{ mm}$$

2. Kontrol tulangan leleh,

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600 \leq f_y$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{26,5}{35}\right) 600 \leq 500 \text{ Mpa}$$

$$f_s' = 145,71 \text{ Mpa} \leq 500 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{tulangan tekan tidak leleh}$$

3. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{f_c \cdot b \cdot 0,85} = \frac{974,4 \times 500}{35 \times 1000 \times 0,85} = 16,37 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{16,37}{0,8} = 20,47$$

$$\frac{3}{8}d = \frac{3}{8} \times 123,5 = 46,31$$

$$c < \frac{3}{8}d \dots (\text{Tension controlled})$$

4. Kontrol Penulangan

Menurut data *As Built Drawing*, pada struktur pelat lantai, dipasang D13-150.

$$A_s = 0,25\pi d^2$$

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 13^2 = 132,73 \text{ mm}$$

Cek kontrol jarak tulangan berdasarkan SNI 03-2847-2013 Ps 10.5.4 bahwa jarak spasi maksimum antar tulangan slab tidak boleh melebihi dari nilai terkecil dari 3 kali tebal slab, atau 450 mm (dipakai nilai terkecil adalah 450 mm). Selanjutnya, pada pasal 13.3.2 disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari 2 kali tebal slab ($\leq 2 \times 150 \text{ mm} = 360 \text{ mm}$), jarak tulangan utama dalam tinjauan 1 m.

Data penulangan terpasang adalah D3-150,

150 m < 300 mm (*Memenuhi*)

Maka,

$$\begin{aligned} A_{s \text{ Pasang}} &= \frac{0,25\pi\phi^2 b}{S} = \\ &= \frac{0,25\pi \times 13^2 \times 1000}{150} = 884,88 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek syarat penulangan minimum berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{0,25\sqrt{35}}{500} \times 1000 \times 123,5 = 365,32 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_s = \frac{1,4}{f_y} \cdot b_w \cdot d = \frac{1,4}{500} \cdot 1000 \cdot 123,5 = 345,8 \text{ mm}$$

$A_s \text{ minimum} < A_s \text{ pasang}$, (*Memenuhi*)

5. Analisa pada tulangan tekan perlu dilakukan

$$A_s' = 0,25\pi d^2$$

$$A_s' = 0,25 \times 3,14 \times 13^2 = 132,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ Pasang}} &= \frac{0,25\pi\phi^2 b}{S} = \\ &= \frac{0,25\pi \times 13^2 \times 1000}{150} = 884,88 \text{ mm} \end{aligned}$$

6. Kontrol Kapasitas Lentur

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - (A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f_c \cdot b}$$

$$a = \frac{(884,88 \times 500) - (884,88 \times 145,71)}{0,85 \times 35 \times 1000} = 14,87 \text{ mm}$$

$$M_n = 0,9 \cdot A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot f_s' x (d - d')$$

$$M_n = 0,9 \cdot 884,88 \cdot 500 \left(123,5 - \frac{14,87}{2}\right) + 884,88 \cdot 145,71 (123,5 - 26,5)$$

$$= 45866181 \text{ Nmm}$$

$$= 4586,61 \text{ Kgm} > 4112,25 \text{ Kgm} \quad (\text{Memenuhi})$$

7. Kontrol tulangan susut

Cek syarat minimum tulangan susut ditentukan berdasarkan kebutuhan tulangan minimum terhadap suhu dan susut, yang diatur pada SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1;

- a. Slab yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 persen

$$\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$$

Digunakan $f_y = 500 \text{ Mpa}$, maka dihitung;

$$\rho_{min} = \frac{0,0018 \times 420}{500} = 0,0015$$

Maka,

$$A_s = \rho_{min} b d$$

$$A_s = 0,0015 \times 1000 \times 156 = 234 \text{ mm}$$

Digunakan D10-150 mm

Syarat S. Maks sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1 adalah tidak lebih jauh dari 5 kali tebal slab atau tidak lebih jauh 450mm (disini digunakan 450 mm), maka;

S. Pasang < S maksimal

$$150 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

$$A_s \text{ Pasang} = \frac{0,25 \pi \phi^2 b}{s}$$

$$= \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{150} = 523,59 \text{ mm}$$

Kontrol syarat penulangan,

As. Pasang > As. Perlu

523,59 mm > 234 mm

(Memenuhi)

5.2.2.4 Evaluasi Struktur Tangga

Setelah Dilakukan analisa pembebanan, perhitungan momen, serta analisa penulangan pada struktur pelat. Diperoleh hasil pada rekapitulasi tabel berikut:

Tabel 5. 3 Rekapitulasi perhitungan Momen Pada Tangga

Pelat	Momen Ultimit (kgm)	Momen Nominal (kgm)	Keterangan
Tangga	5663,54	4586,61	Not OK
Bordes	4112,25	4586,61	OK

Dari hasil rekapitulasi momen, dapat diketahui bahwa kapasitas pada pelat tangga dalam menerima momen yang terjadi masih belum mencukupi. Analisa pembebanan, perhitungan momen serta analisa penulangan dilakukan berdasarkan peraturan terbaru, yaitu SNI 1727-2013 untuk pembebanan, dan SNI 2847-2013 mengenai persyaratan beton struktural untuk gedung. Salah satu kemungkinan penyebab kapasitas tulangan tidak mencukupi adalah perbedaan beban hidup tangga pada peraturan lama (PPIUG 83) dan SNI 1727-2013.

Tabel 5. 4 Beban Tangga pada PPIUG 83

g	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri.	500	kg/m ²
h	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	300	kg/m ²
i	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f dan g.	500	kg/m ²
j	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f dan g.	250	kg/m ²
k	Lantai untuk: pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	400	kg/m ²

Oleh karena itu, pada tabel dibawah ini akan disajikan hasil analisa momen menggunakan pembebanan sesuai peraturan PPIUG 83.

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Perhitungan Momen dengan Beban PPIUG

Pelat	Momen Ultimit (kgm)	Momen Nominal (kgm)	Keterangan
Tangga	4460,1	4586,61	OK
Bordes	3015,27	4586,61	OK

Dari tabel diatas, diperoleh bahwa kapasitas penampang pada pelat tangga dan bordes masih memenuhi kapasitas ultimit yang terjadi jika beban yang digunakan sesuai dengan peraturan PPIUG 83.

5.2.2.5 Analisa Struktur Balok Bordes

Balok Bordes merupakan balok yang berada pada ujung bordes, umumnya berperan dalam mentransferkan beban dari pelat bordes menuju kolom. Pada struktur tangga Gedung One East Residences, struktur Balok Bordes tidak hanya berfungsi sebagai penyalur beban, namun juga memikul beban dinding di atasnya. Oleh karena itu, akan dilakukan evaluasi mengenai kapasitas Balok Bordes eksisting.

Data Evaluasi Balok Bordes

- Bentang balok = 2700 mm
- Dimensi balok (b) = 150 mm
- Dimensi balok (h) = 400 mm
- Kuat tekan beton (f_c') = 35 MPa
- Kuat leleh lentur (f_y) = 400 MPa
- Kuat leleh Geser (f_{yv}) = 240 MPa
- Tebal selimut beton = 40 mm
- D. Tulangan Eksisting = 13 mm
- Ø Tulangan Eksisting = 10 mm

Pembebanan Balok Bordes

Beban mati

- Berat sendiri = $0,15\text{m} \times 0,4\text{m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 144 \text{ Kg/m}$
- Berat dinding = $2,25 \text{ m} \times 90 \text{ Kg/m}^2 = 202,5 \text{ Kg/m}$
 $Q_d = 346,5 \text{ Kg/m}$

Beban Ultimate

- $Q_d \text{ ultimate} = 1,2 \times 346,5 \text{ Kg/m} = 415,8 \text{ Kg/m}$
- beban pelat bordes = $6593,48/2,7 \text{ m} = 2442,03 \text{ Kg/m}$
 $Q_u = 2857,83 \text{ Kg/m}$

Analisis gaya yang terjadi pada balok bordes

$$M_{ult} = \frac{1}{8} \times q_u \times l^2 = \frac{1}{8} \times 2857,83 \times 2,7^2 = 2604,19 \text{ kgm}$$

$$V_{ult} = \frac{1}{2} \times q_u \times l = \frac{1}{2} \times 2857,83 \times 2,7 = 3858,07 \text{ kgm}$$

Analisa Penulangan Balok Bordes

Menghitung tebal manfaat

$$d_e = d = 400 \text{ mm} - (40 + 10 + 13/2) \text{ mm} \\ = 343,5 \text{ mm}$$

Pada balok bordes yang ditinjau, tulangan terpasang secara rangkap oleh karenanya akan dilakukan analisa dengan menggunakan perhitungan tulangan rangkap.

Tulangan Lentur

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0.85 - \left(\frac{28-35}{28-35}\right)(0.85 - 0.8) = 0.8$$

Dianalisa menggunakan tulangan rangkap, Cek momen nominal aktual

$$M_{u \text{ kanan}} = M_{u \text{ kiri}} = 26041900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{26041900}{0.9} = 28935444,44 \text{ Nmm}$$

Ambil harga $x \leq 0,75 x_b$ untuk mencari titik berat, dimana:

$$d = 343,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + 6,5 = 56,5 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 400} \cdot 343,5 = 206,1$$

$$x \leq 0,75 \times 206,1 = 154,575 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } x = 100 \text{ mm}$$

Kontrol tulangan leleh,

$$f'_s = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600 \leq f_y$$

$$f'_s = \left(1 - \frac{56,5}{100}\right) 600 \leq 500 \text{ Mpa}$$

$$f'_s = 261 \text{ Mpa} \leq 500 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{tulangan tekan tidak leleh}$$

Menurut data *As Built Drawing*, pada komponen balok bordes yang ditinjau terpasang **3D13** ($398,2 \text{ mm}^2$) pada bagian tumpuan atas. Sedangkan pada tulangan tumpuan bawah menurut data *As Built Drawing*, pada komponen balok yang ditinjau terpasang **3D13** ($398,2 \text{ mm}^2$)

$$A_s = 398,2 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 398,2 \text{ mm}^2$$

Cek kondisi penampang

$$a = \frac{(A_s f_y - A_s' f_s')}{0,85 x f_c x b} = \frac{(398,2 x 400 - 398,2 x 261)}{0,85 x 35 x 150} = 12,4 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{12,4}{0,8} = 15,5 \text{ mm}$$

$$0,375d_t = 0,375 x 343 = 128,63 \text{ mm}$$

$c < 0,375d_t \rightarrow$ penampang *tension controlled* (asumsi awal benar)

Cek batas penulangan

Jumlah tulangan tidak boleh kurang dari $1,4b_w d/f_y$ dan

$\frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} b_w d$, serta rasio tulangan, ρ , tidak melebihi 0,025 (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$1,4b_w d/f_y = 1,4 x 150 x 343/400 = 180,075 \text{ mm}^2$$

$$\frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} b_w d = \left(\frac{0,25\sqrt{35}}{400} \right) 150.343 = 190,24 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ tulangan terpasang} > \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} b_w d \quad (\text{Memenuhi})$$

- Cek momen nominal aktual

$$a = \frac{(A_s f_y - A_s' f_s')}{0,85 x f_c x b} = \frac{(398,2 x 400 - 398,2 x 261)}{0,85 x 35 x 300} = 12,40 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (d - d')$$

$$\phi M_n = 0,9 x 0,85 x 35 x 150 x 12,4 \left(343 - \frac{12,4}{2} \right) + 398,2 x 261 (343 - 56,5) = 46549147,5 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn \geq Mn = 46549147,5 \text{ Nmm} \geq 28935444,44 \text{ Nmm}$$

*) kapasitas penampang masih mencukupi

Cek terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 10.6.4

$$\text{Syarat: } s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

$$\text{Dan tidak melebihi dari nilai } 300 \left(\frac{280}{f_y} \right)$$

$$\text{Dimana } f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (400) = 266,67 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 40 \text{ mm}$$

Keterangan:

C_c : jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

F_s = tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan terjadi.

$$s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

$$s = 380 \left(\frac{280}{266,67} \right) - 2,5(40) = 298,99 \text{ mm}$$

Dan,

$$300 \left(\frac{280}{f_y} \right) = 300 \left(\frac{280}{400} \right) = 210 \text{ mm}$$

Maka

$$S_{\text{pasang}} < s$$

$$33,9 \text{ mm} < 210 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

Tulangan Geser

Besarnya gaya geser yang digunakan adalah gaya geser terfaktor

- Menentukan lebar efektif balok-T

Lebar efektif balok-T ditetapkan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 8.12.2 dipilih yang terkecil dari

$$B_{\text{eff1}} \leq \frac{L}{4} = \frac{2700}{4} = 675 \text{ mm}$$

$$B_{\text{eff2}} \leq bw + 16 hf = 150 + 16 \times 150 = 2550$$

Digunakan $B_{\text{eff}} = 675 \text{ mm}$

$$V_u = \frac{V_n}{1350} \cdot b = \frac{3858,07}{1350} \cdot 675 = 1920,035 \text{ Kg}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.1

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \lambda \sqrt{f'c'} b w d = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 150 \cdot 343,5 \\ &= 51820,42 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 51820,42 \text{ N} = 38865,32 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 38865,32 \text{ N} = 19432,66 \text{ N}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tidak Perlu Tulangan Geser

$19200,035 \text{ N} < 19432,66 \text{ N}$ (**Memenuhi**)

Sesuai persyaratan diatas, maka kebutuhan tulangan geser sebenarnya tidak dibutuhkan. Namun, dalam kondisi nyata di proyek, tulangan geser akan selalu dipasang walau dalam keadaan minimum. Maka dari itu, selanjutnya akan dilakukan analisa penulangan geser dengan kondisi minimum.

Berdasarkan SNI 2847 – 2013 pasal 11.4.6 dimana tulangan geser minimum yang disediakan adalah :

$$A_{v\text{min}} = 0,0062 \sqrt{f'c'} \frac{b w s}{f_{yt}}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{v\text{min}}}{s} &= 0,0062 \sqrt{f'c'} \frac{b w}{f_{yt}} = 0,0062 \cdot \sqrt{35} \frac{150}{400} \\ &= 0,023 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari,

$$\begin{aligned} A_{v\text{min}} &= \frac{0,35 \cdot b w \cdot s}{240} \\ \frac{A_{v\text{min}}}{s} &= \frac{0,35 \cdot b w}{f_{yt}} = \frac{0,35 \cdot 150}{240} \\ &= 0,21 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Pada data *As Built Drawing* Digunakan sengkang dua kaki D10-150

$$A_v = 2 \times 0,25 \pi D^2 = 2 \times 0,25 \pi 10^2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847 – 2013 pasal 11.4.5.1 Jarak sengkang tidak boleh lebih dari

$$\frac{d}{2} = \frac{343,5 \text{ mm}}{2} = 171,75 \text{ mm}$$

150 mm > 171 mm (*Memenuhi*)

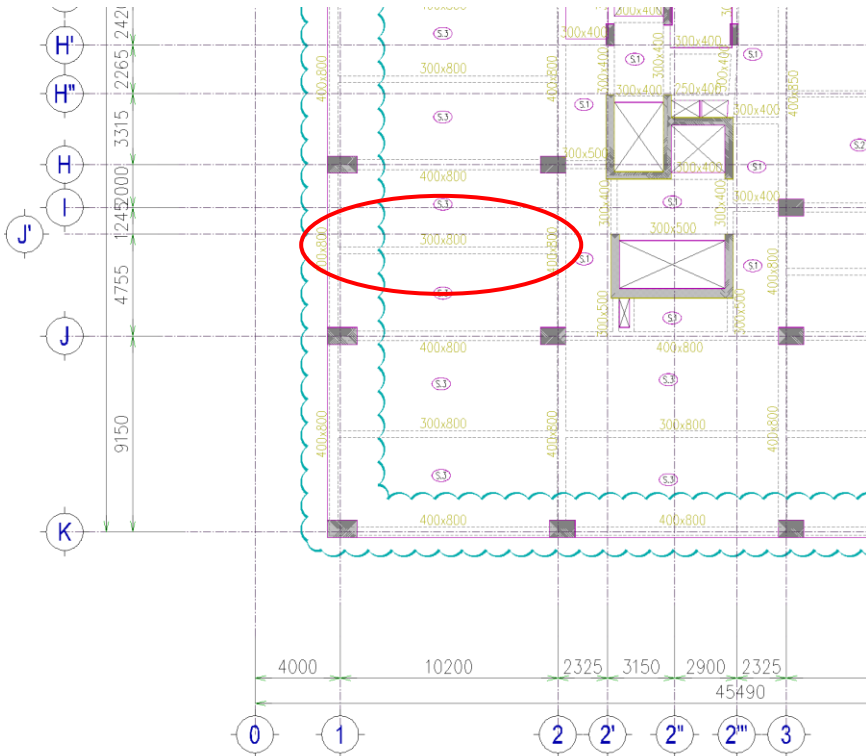
5.2 Evaluasi Struktur Balok Sekunder

Balok merupakan salah satu komponen rangka pada sistem rangka pemikul momen sehingga harus direncanakan sebaik mungkin agar tidak terjadi kegagalan struktur dan dapat menjamin keselamatan dan keamanan bagi penghuninya. Balok sekunder umumnya berguna sebagai penyalur beban pada pelat dan selanjutnya ditransferkan menuju ke balok induk.

Pada bab ini hanya akan diambil jenis balok sekunder arah melintang pada As J 1:2 lantai 2 sebagai salah satu contoh perhitungan. Selanjutnya, hasil analisa evaluasi akan disajikan dalam bentuk tabel pada akhir bab ini.

Data Evaluasi Balok Sekunder

- Mutu beton, f'_c = 35 Mpa
- Dimensi balok = 300/800
- Bentang balok = 10300 mm
- D. Tulangan Lentur = BJTD D19, $f_y = 400$ Mpa
- D. tulangan geser = 1,5D10-100, $f_y = 240$ Mpa
- Faktor Reduksi Lentur = 0,9
- Faktor Reduksi Geser = 0,75



Gambar 5. 5 Denah Balok Sekunder Tinjauan

5.2.1 Pembebanan Balok Sekunder

Beban Mati (DL)

- Berat Pelat = t. pelat x γ .Beton
 $= 0,18 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 432 \text{ Kg/m}^2$
- Beban Keramik
 Spesi menggunakan MU-420, dengan tebal 3 mm
 $= 30 \text{ Kg/m}^2$
- Beban Spesi
 $= 5 \text{ Kg/m}^2$

Beban Ducting dan Mekanikal diambil dari ASCE 7-2002 Tabel C3-1, (*Ceramics or Quarry tile on 25mm mortar bed, Acoustical fiberboard, Mechanical Duct Allowance, Suspended Steel Channel System*)

- Beban Ducting dan Mekanikal = 19 Kg/m²
Plafond dan penggantung, Jayaboard
- Beban Plafond dan Penggantung = 8 Kg/m²
Qd = 494 kg/m²

Semua beban mati pada pelat selanjutnya akan ditransferkan menuju balok sesuai dengan luas tributary daerah di sekitar balok.

Perhitungan luas tributary balok sekunder;

$$A_t = 2 \times p \times l = 2 \times 10300 \times 2000 = 41200000 \text{ mm}^2 \\ = 41,2 \text{ m}^2$$

$$W_{DL} = 494 \text{ kg/m}^2 \times 20,6 \text{ m}^2 / 10,3 \text{ m} = 988 \text{ kg/m}$$

Beban sendiri Balok Anak

- $W_{DL2} = 0,3 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 576 \text{ Kg/m}$

Beban Mati Total

- $W_{DL} + W_{DL2} = 988 + 576 = 1564 \text{ kg/m}$

Beban Hidup (LL)

- Beban Hidup ruang publik (Lobby) = 479 kg/m²
Beban hidup aktual yang diterima balok juga sesuai dengan luas tributary
 $W_{LL} = 479 \text{ kg/m}^2 \times 20,6 \text{ m}^2 / 10,3 \text{ m} = 958 \text{ kg/m}$

Beban Ultimate

- $1,4 W_{DL} = 1,4 \times 1564 \text{ kg/m} = 2189,6 \text{ kg/m}$
- $1,2 W_{DL} + 1,6 W_{LL} = 1,2 (1564) + 1,6 (958) \\ = 3409,6 \text{ kg/m (menentukan)}$

5.2.2 Analisa Struktur Balok Sekunder

Besarnya nilai momen yang bekerja pada balok diambil Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3

$$M_{tump1} = \frac{1}{10} W_u \cdot Lx^2 = \frac{1}{9} (3409,6)(10,3)^2 = 40191,61 \text{ kgm}$$

$$M_{Lap} = \frac{1}{16} W_u \cdot Lx^2 = \frac{1}{16} (3409,6)(10,3)^2 = 22607,78 \text{ kgm}$$

$$M_{tump2} = \frac{1}{11} W_u \cdot Lx^2 = \frac{1}{11} (3409,6)(10,3)^2 = 32884,04 \text{ kgm}$$

$$V_u = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{3409,6 \cdot 10,3}{2} = 17559,44 \text{ kg}$$

Setelah didapatkan gaya-gaya yang terjadi pada balok sekunder, selanjutnya akan dilakukan analisa penulangan. Karena pada struktur balok sekunder terpasang tulangan rangkap maka untuk perhitungan kapasitas tulangan akan menggunakan tulangan rangkap.

Tumpuan I

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0.85 - \left(\frac{28-35}{28-35}\right)(0.85 - 0.8) = 0.8$$

Dianalisa menggunakan tulangan rangkap, Cek momen nominal aktual

$$M_{u \text{ tump1}} = 40191,61 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{401916100}{0.9} = 446573412,3 \text{ Nmm}$$

Ambil harga $x \leq 0,75 x_b$ untuk mencari titik berat, dimana:

$$\text{Tebal efektif balok (d)} = 800 - 40 - 10 - 19/2 = 740,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + 9,5 = 59,5 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 400} \cdot 740,5 = 444,3 \text{ mm}$$

$$x \leq 0,75 \times 444,3 = 333,22 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } x = 150 \text{ mm}$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 = \left(1 - \frac{59,5}{150}\right) \times 600 = 362 \text{ Mpa}$$

karena $f_s' = 362 < f_y = 400 \text{ Mpa} \rightarrow$ tul. tekan tidak leleh
Tulangan tumpuan atas (tarik)

Menurut data *As Built* Drawing, pada komponen balok sekunder yang ditinjau terpasang **6 D19** ($1701,17 \text{ mm}^2$) pada bagian tumpuan atas. Sedangkan pada tulangan tumpuan bawah menurut data *As Built* Drawing, pada komponen balok yang ditinjau terpasang **3 D19** ($850,58 \text{ mm}^2$)

$$A_s = 1701,17$$

$$A_s' = 850,58$$

Cek kondisi penampang

$$a = \frac{(A_s f_y - A_s' f_s')}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{(1701,17 \times 400 - 850,58 \times 362)}{0,85 \times 35 \times 300} = 41,74 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{41,74}{0,8} = 52,1 \text{ mm}$$

$$0,375 d_t = 0,375 \times 740,5 = 277,68 \text{ mm}$$

$c < 0,375 d_t \rightarrow$ penampang *tension controlled* (asumsi awal benar)

Cek batas penulangan

Jumlah tulangan tidak boleh kurang dari $1,4 b_w d / f_y$ dan

$\frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d$, serta rasio tulangan, ρ , tidak melebihi 0,025 (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$1,4 b_w d / f_y = 1,4 \times 300 \times 740,5 / 400 = 777,525 \text{ mm}^2$$

$$\frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d = \left(\frac{0,25 \sqrt{35}}{400} \right) 300 \cdot 740,5 = 821,41 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tulangan terpasang} > \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d \quad (\text{Memenuhi})$$

- Cek momen nominal aktual

$$a = \frac{(A_s f_y - A'_s f'_s)}{0,85 x f_c x b} = \frac{(1701,17 x 400 - 850,58 x 362)}{0,85 x 35 x 300} = 41,74 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_n = 0,9 x 0,85 x 35 x 300 x 41,74 \left(740,5 - \frac{41,74}{2}\right) + 850,58 x 362 (740,5 - 59,5)$$

$$\phi M_n \geq M_n = 450980230,9 \text{ Nmm} \geq 446573412,3 \text{ Nmm}$$

*) kapasitas penampang masih mencukupi

Lapangan

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \left(\frac{28-35}{28-35}\right)(0,85 - 0,8) = 0,8$$

Dianalisa menggunakan tulangan rangkap, Cek momen nominal aktual

$$M_{u \text{ tump1}} = 22607,78 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{226077800}{0,9} = 251197555,6 \text{ Nmm}$$

$$x \leq 0,75 x 444,3 = 333,32 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } x = 150 \text{ mm}$$

$$f'_s = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 = \left(1 - \frac{59,5}{200}\right) x 600 = 362 \text{ Mpa}$$

karena $f'_s = 362 < f_y = 400 \text{ Mpa} \rightarrow$ tul. tekan tidak leleh

Tulangan tumpuan atas (tarik)

Menurut data *As Built* Drawing, pada komponen balok sekunder yang ditinjau terpasang **5 D19** ($1701,17 \text{ mm}^2$) pada bagian tumpuan atas. Sedangkan pada tulangan tumpuan bawah menurut data *As Built* Drawing, pada komponen balok yang ditinjau terpasang **3 D19** ($850,58 \text{ mm}^2$)

$$A_s = 1417,64 \text{ mm}^2$$

$$A'_s = 850,58 \text{ mm}^2$$

Cek kondisi penampang

$$a = \frac{(A_s f_y - A'_s f'_s)}{0,85 x f_c x b} = \frac{(1417,64 x 400 - 850,58 x 362)}{0,85 x 35 x 300} = 29,03 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{41,74}{0,8} = 36,28 \text{ mm}$$

$$0,375 d_t = 0,375 x 740,5 = 277,68 \text{ mm}$$

$c < 0,375 d_t \rightarrow$ penampang *tension controlled* (asumsi awal benar)

Cek batas penulangan

Jumlah tulangan tidak boleh kurang dari $1,4 b_w d / f_y$ dan

$\frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d$, serta rasio tulangan, ρ , tidak melebihi 0,025 (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$1,4 b_w d / f_y = 1,4 x 300 x 740,5 / 400 = 777,525 \text{ mm}^2$$

$$\frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d = \left(\frac{0,25 \sqrt{35}}{400} \right) 300 \cdot 740,5 = 821,41 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tulangan terpasang} > \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d \quad (\text{Memenuhi})$$

- Cek momen nominal aktual

$$a = \frac{(A_s f_y - A'_s f'_s)}{0,85 x f_c x b} = \frac{(1417,64 x 400 - 850,58 x 362)}{0,85 x 35 x 300} = 29,03 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 0,9 x 0,85 x 35 x 300 x 29,03 \left(740,5 - \frac{29,03}{2} \right) + 850,58 x 362 (740,5 - 59,5) = 378974387,9 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n \geq M_n = 378974387,9 \text{ Nmm} \geq 251197555,6 \text{ Nmm}$$

*) kapasitas penampang masih mencukupi

Tumpuan II

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \left(\frac{28-35}{28-35} \right) (0,85 - 0,8) = 0,8$$

Dianalisa menggunakan tulangan rangkap, Cek momen nominal aktual

$$M_{u \text{ tump1}} = 32884,04 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{328840400}{0.9} = 365378222,2 \text{ Nmm}$$

Ambil harga $x \leq 0,75 x_b$ untuk mencari titik berat, dimana:

$$\text{Tebal efektif balok (d)} = 800 - 40 - 10 - 19/2 = 740,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + 9,5 = 59,5 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 400} \cdot 740,5 = 444,3 \text{ mm}$$

$$x \leq 0,75 \times 444,3 = 333,22 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } x = 150 \text{ mm}$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 = \left(1 - \frac{59,5}{200}\right) \times 600 = 362 \text{ Mpa}$$

Menurut data *As Built* Drawing, pada komponen balok sekunder yang ditinjau terpasang **5D19** ($1417,64 \text{ mm}^2$) pada bagian lapangan bawah (tarik) dan **2D19** ($567,06 \text{ mm}^2$) pada lapangan atas (tekan)

$$A_s = 1417,64 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 567,06 \text{ mm}^2$$

- Cek kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 x f_c x b} = \frac{(1417,64 \times 400 - 567,06 \times 362)}{0,85 \times 35 \times 300} = 40,53 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{76,24}{0,8} = 79,04 \text{ mm}$$

$$0,375 d_t = 0,375 \times 740,5 = 277,68 \text{ mm}$$

$c < 0,375 d_t \rightarrow$ penampang *tension controlled* (asumsi awal benar)

- Cek batas penulangan

Jumlah tulangan tidak boleh kurang dari $1,4 b_w d / f_y$ dan

$\frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$, serta rasio tulangan, ρ , tidak melebihi 0,025 (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$1,4b_w d/f_y = 1,4 \times 300 \times 740,5/400 = 777,525 \text{ mm}^2$$

$$\frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d = \left(\frac{0,25\sqrt{35}}{400} \right) 300 \times 740,5 = 821,41 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tulangan terpasang} > \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (\text{Memenuhi})$$

- Cek momen nominal aktual

$$a = \frac{A_s f_y - A_s' f_s'}{0,85 x f_c x b} = \frac{(1417,64 \times 400 - 567,06 \times 362)}{0,85 \times 35 \times 300} = 40,53 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot 0,85 \cdot a \cdot f_c \cdot b \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \cdot f_s' (d - d')$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 0,85 \times 35 \times 300 \times 40,53 \left(740,5 - \frac{40,53}{2} \right) + 567,06 \times 362 \times (740,5 - 59,5) = \text{Nmm}$$

$$\phi M_n \geq M_n = 374270473,3 \text{ Nmm} \geq 365378222,2 \text{ Nmm}$$

Cek terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 10.6.4

$$\text{Syarat: } s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

$$\text{Dan tidak melebihi dari nilai } 300 \left(\frac{280}{f_y} \right)$$

$$\text{Dimana } f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (400) = 266,67 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 40 \text{ mm}$$

Keterangan:

C_c : jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

F_s = tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan terjadi.

$$s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

$$s = 380 \left(\frac{280}{266,67} \right) - 2,5(40) = 298,99 \text{ mm}$$

Dan,

$$300 \left(\frac{280}{f_y} \right) = 300 \left(\frac{280}{400} \right) = 210 \text{ mm}$$

Maka

$$S_{\text{pasang}} < s$$

$$33,9 \text{ mm} < 210 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

5.2.3 Evaluasi Kapasitas Geser Balok

Besarnya gaya geser yang digunakan adalah gaya geser terfaktor

- Menentukan lebar efektif balok-T

Lebar efektif balok-T ditetapkan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 8.12.2 dipilih yang terkecil dari

$$B_{\text{eff1}} \leq \frac{L}{4} = \frac{10300}{4} = 2575 \text{ mm}$$

$$B_{\text{eff2}} \leq b_w + 16 h_f = 300 + 16 \times 180 = 3180$$

Digunakan $B_{\text{eff}} = 2575 \text{ mm}$

$$V_u = \frac{V_n}{1350} \cdot b_{\text{eff}} = \frac{17559,44}{5150} \cdot 2575 = 8779,79 \text{ Kg}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.1

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \lambda \sqrt{f'c} b_w d = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 740,5 \\ &= 223424,71 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 223423,71 \text{ N} = 167567,78 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 38865,32 \text{ N} = 83783,9 \text{ N}$$

Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tidak Perlu Tulangan Geser}$$

87797,7 N < 83783,9 N (**Tidak Memenuhi***)

*) beton tidak mampu menahan geser, maka diperlukan tulangan geser

Kondisi II

Kondisi dimana tulangan geser diperlukan namun dalam kondisi tulangan geser minimum

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c$$

83783,9 < 87797,7 N < 167567,78 N (*Memenuhi*)

Sesuai dengan kondisi diatas, pada balok yang ditinjau kebutuhan tulangan geser sebenarnya dalam kondisi minimum, berdasarkan SNI 2847 – 2013 pasal 11.4.6 dimana tulangan geser minimum yang disediakan adalah:

$$\begin{aligned} A_{vmin} &= 0,062 \sqrt{f'c} \frac{bw}{f_{yt}} \\ \frac{A_{vmin}}{s} &= 0,062 \sqrt{f'c} \frac{bw}{f_{yt}} = 0,062 \cdot \sqrt{35} \frac{300}{400} \\ &= 0,27 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari,

$$\begin{aligned} A_{vmin} &= \frac{0,35 \cdot bw \cdot s}{400} \\ \frac{A_{vmin}}{s} &= \frac{0,35 \cdot bw}{f_{yt}} = \frac{0,35 \cdot 300}{400} \\ &= 0,262 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Pada balok anak yang menjadi tinjauan, tulangan geser disesuaikan dengan data *As Built Drawing*, dan digunakan sengkang dua kaki D10-100

$$A_v = 2 \times 0,25 \pi D^2 = 2 \times 0,25 \pi = 157,08 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847 – 2013 pasal 11.4.5.1 Jarak sengkang tidak boleh lebih dari

$$\begin{aligned} \frac{d}{2} &= \frac{740,5 \text{ mm}}{2} = 370,25 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} &< 370,25 \text{ mm} \text{ (*Memenuhi*)} \end{aligned}$$

5.2.4 Rekapitulasi Balok Sekunder

Lantai GF

Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
		Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
D-E:1-2	BA (350x800)	367.34	345.32	204.5	386.65	386.65	452.09	Safe
J-K:1-2	BA (350x800)	423.28	387.76	301.65	577.73	386.65	452.09	Safe
J-K:2-3	BA (350x800)	398.12	365.45	290.23	577.73	577.73	577.73	Safe
J-K:3-4	BA (350x800)	502.6	497.13	380.17	577.73	577.73	577.73	Safe
J'-J:3-4	BA (350x800)	446.8	419.25	300.85	452.09	452.09	512.43	Safe
C'-C:2"-3	BA (350x500)	442.87	418.34	305.65	452.09	324.89	386.65	Safe
2'-2":A-B	BA (300x400)	249.43	360.43	252.12	259.32	385.65	259.32	Safe
3-4:G-I	BA (300x800)	442.87	451.1	446.8	452.09	452.09	512.43	Safe
3-4:G-I	BA (300x800)	612.43	365.13	546.78	636.65	386.65	636.65	Safe

Lantai 2

Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
		Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
D-E:1-2	BA (300x800)	284.53	214.56	178.43	324.89	259.32	452.09	Safe
J'-J:1-2	BA (300x800)	323.66	320.12	213.56	386.65	321.21	324.89	Safe
J-K:1-2	BA (300x800)	561.78	240.23	401.43	636.65	259.32	452.09	Safe
J-K:2-3	BA (300x800)	621.34	616.32	543.12	636.65	636.65	577.73	Safe
J-K:3-4	BA (300x800)	578.19	213.22	451.1	636.65	259.32	452.09	Safe
J'-J:3-4	BA (300x800)	309.12	241.34	420.12	324.89	259.32	452.09	Safe
H"-H:3-4	BA (300x800)	310.33	252.12	233.15	324.89	259.32	452.09	Safe
G'-G:3-4	BA (300x800)	312.34	345.35	443.87	324.89	386.65	452.09	Safe
C'-C:2"-3	BA (350x500)	447.13	317.34	351.23	452.09	324.89	386.65	Safe
3-4:H"-I	BA (250x400)	176.25	178.14	112.34	196.14	196.14	196.14	Safe

Lantai P1.A

Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
		Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
D-E:1-2	BA (300x850)	505.66	385.48	324.39	512.43	512.43	512.43	Safe
E-F:3-4	BA (300x850)	437.97	496.89	263.43	577.73	512.43	512.43	Safe
J-K:3-4	BA (300x850)	478.4	417.01	275.95	512.43	452.09	452.09	Safe

Lantai P2 & P3

Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
		Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
D-E:1-2	BA (300x850)	365.76	212.65	317.89	452.09	263.27	386.65	Safe
J-K:1-2	BA (300x850)	340.12	323.15	203.4	577.73	452.09	386.65	Safe

Lantai P2.A & P3.A

Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
		Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
D-E:3-4	BA (300x850)	284.53	214.56	178.43	324.89	452.09	386.65	Safe
J-K:3-4	BA (300x850)	235.93	162.7	230.44	577.73	452.09	324.89	Safe

Lantai P3 Mezz

Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
		Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
A-B:1-2	BA (300x850)	164.48	200.16	145.11	512.43	452.09	386.65	Safe
D-E:1-2	BA (300x850)	201.92	109.26	175.87	452.09	263.27	386.65	Safe
J-K:1-2	BA (300x850)	403.63	412.34	292.87	577.73	452.09	385.65	Safe

Lantai 5

Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
		Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
A-B:1-2	BA (300x750)	284.53	214.56	178.43	263.27	263.27	324.89	Safe
H'-H":1-2	BA (300x750)	449.21	343.63	297.89	452.09	452.09	324.89	Safe
D-E:1-2	BA (300x750)	184.81	299.85	114.89	263.27	263.27	452.09	Safe
J-K:1-2	BA (300x750)	408.76	289.87	189.87	452.09	324.89	512.43	Safe
J-K:2-3	BA (300x750)	450.89	342.12	235.21	512.43	386.65	512.43	Safe
J-K:3-4	BA (300x750)	434.89	276.54	176.34	512.43	386.65	263.27	Safe
2'-2":A-B	BA (300x750)	250.12	192.34	378.98	196.14	259.32	452.09	Safe

Lantai 6-28

Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
		Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
A-B:1-2	BA (300x750)	254.53	214.56	178.43	263.27	263.27	324.89	Safe
J-K:1-2	BA (300x750)	435.12	311.24	245.78	452.09	324.89	577.73	Safe
J-K:2-3	BA (300x750)	234.43	465.23	198.87	577.73	386.65	263.27	Safe
J-K:3-4	BA (300x750)	342.98	465.43	252.09	512.343	386.65	263.27	Safe

5.3 Evaluasi Stuktur Primer

Struktur primer merupakan unsur terpenting dalam kekuatan suatu gedung. Gedung One East Residences ini menggunakan sistem ganda, dimana struktur berperilaku sebagai satu kesatuan yang terdiri sistem rangka yang memikul beban gravitasi secara lengkap dan dinding geser serta sistem rangka pemikul momen yang menahan beban lateral gempa. Berdasarkan nilai Kategori Desain Seismik D, maka struktur primer yang akan di analisa menggunakan aturan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). Untuk evaluasi struktur primer pada tugas akhir ini akan meliputi evaluasi terhadap struktur lentur berupa balok, struktur tekan berupa kolom, dan juga dinding geser serta pada Hubungan Balok Kolom

5.3.1 Evaluasi Struktur Balok

Balok merupakan salah satu komponen rangka pada sistem rangka pemikul momen sehingga harus direncanakan sebaik mungkin agar tidak terjadi kegagalan struktur dan dapat menjamin keselamatan dan keamanan bagi penghuninya. Balok selain bertugas menerima beban gravitasi mati dan hidup, juga menerima beban akibat gempa yang terjadi.

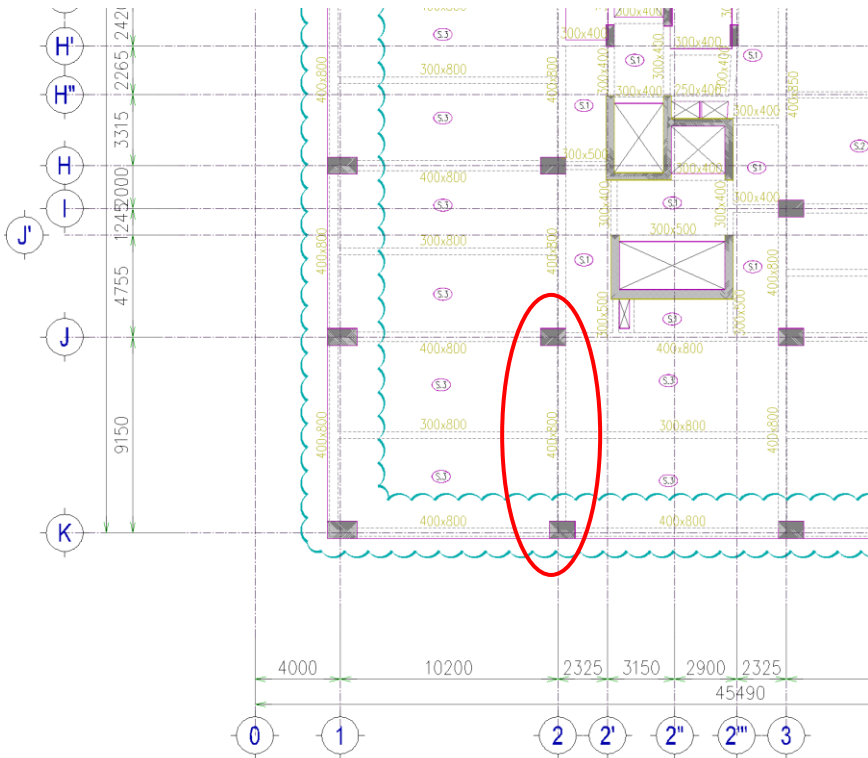
Evaluasi kekuatan balok induk dapat dilakukan setelah melakukan analisa menggunakan program bantu Sap2000 untuk mendapatkan gaya dalam yang terjadi. Semua analisa perhitungan akan mengacu pada peraturan beton terbaru yaitu SNI 2847-2013.

Dikarenakan keterbatasan waktu pada perhitungan struktur primer, pada bab ini hanya akan diambil jenis balok induk arah melintang dan arah memanjang sebagai salah satu contoh perhitungan. Selanjutnya hasil analisa evaluasi akan disajikan dalam bentuk tabel pada akhir bab ini.

Data Evaluasi Balok Primer

- Mutu beton, f'_c = 35 Mpa
- Dimensi balok = 400/800
- Bentang balok = 9150 mm

- Bentang bersih balok = 8375 mm
- D. Tulangan Lentur = BJTD D22, $f_y = 400$ Mpa
- D. tulangan geser = 1,5D10-100, $f_y = 240$ Mpa



Gambar 5. 6 Denah Balok Induk yang menjadi tinjauan

Selanjutnya evaluasi akan dilakukan dengan menganalisa kapasitas penampang serta persyaratan perancangan balok menurut SRPMK.

5.3.1.1 Persyaratan sesuai SRPMK

Menurut SNI 2847-2013, pasal 21.5.1 mengisyaratkan bahwa komponen struktur lentur SRPMK harus memenuhi hal-hal berikut;

- i. Gaya Aksial Tekan terfaktor pada komponen struktur lentur dibatasi maksimum $0,1 A_g f'_c$.
 $0,1 A_g f'_c = 0,1 \times 400 \times 800 \times 35 \text{ Mpa} = 1120 \text{ KN}$
 Berdasarkan analisis struktur, gaya aksial tekan akibat kombinasi gaya gempa dan gravitasi pada komponen struktur = 118,14 KN (Memenuhi)
- ii. Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya.
 Pada komponen balok induk yang menjadi tinjauan, pada tulangan tarik terpasang 3 lapis tulangan D22, selimut beton 40 mm, sengkang dengan tulangan D10, maka;
 $d_e = d = 800 \text{ mm} - (40 + 10 + 22 + 25 + 11) \text{ mm}$
 $d_e = d = 692 \text{ mm}$
 $l_n/d = 9150/692 \text{ mm} = 13,22$ (Memenuhi)
- iii. Perbandingan lebar dan tinggi balok tidak boleh kurang dari 0,3
 $b = 400$; $h = 800$
 $b/h = 400/800$
 $b/h = 0,5$ (Memenuhi)
- iv. Lebar komponen tidak boleh kurang dari 250 mm;
 $b = 400 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$, (Memenuhi)

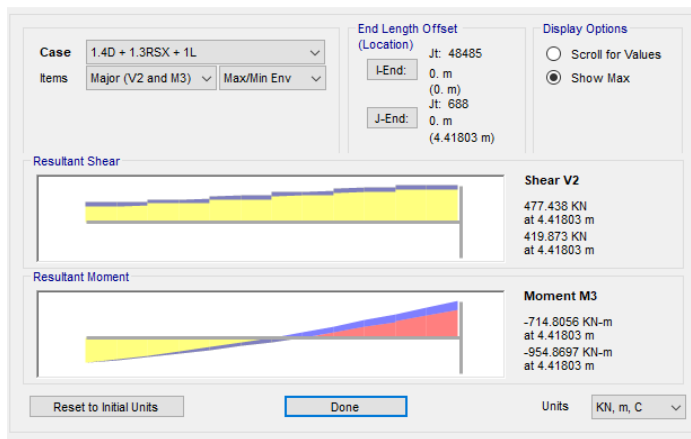
5.3.1.2 Analisa Kapasitas tulangan longitudinal

Dari analisa menggunakan SAP 2000, didapat hasil sebagai berikut;

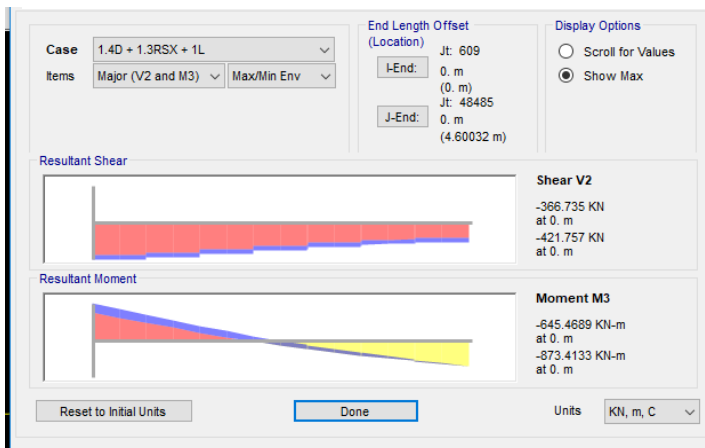
$$M_{\text{tump Kiri}} = -954,87 \text{ KNm}$$

$$M_{\text{tump Kanan}} = -873,413 \text{ KNm}$$

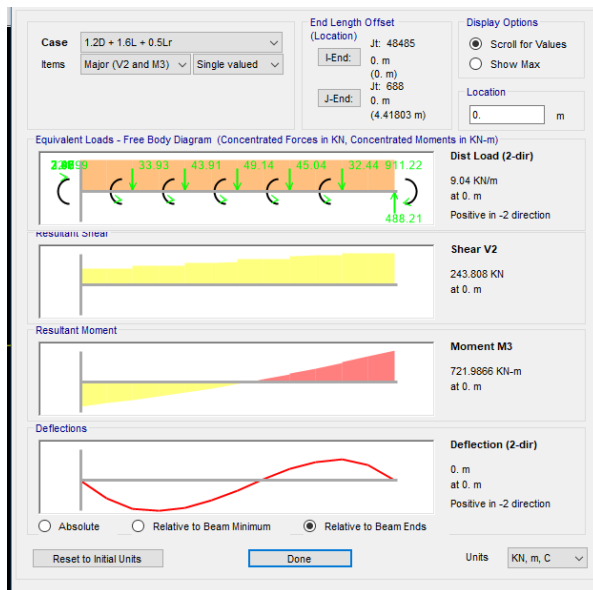
$$M_{\text{lap}} = 721,98 \text{ KNm}$$



Gambar 5. 7 Momen yang bekerja pada balok akibat kombinasi gempa



Gambar 5. 8 Momen yang bekerja pada balok akibat kombinasi gempa



Gambar 5. 9 Momen Lapangan Pada Balok Akibat kombinasi beban

Analisa Tumpuan I

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0.85 - \left(\frac{28-35}{28-35} \right) (0.85 - 0.8) = 0.8$$

Dianalisa menggunakan tulangan rangkap, Cek momen nominal aktual

$$M_{u \text{ tump1}} = -954,87 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{954870000}{0.9} = 1060966667 \text{ Nmm}$$

Ambil harga $x \leq 0,75 x_b$ untuk mencari titik berat, dimana:

$$\text{Tinggi efektif balok (d)} = 800 - 40 - 10 - 22/2 - 22 - 25 = 692 \text{ mm}$$

$$d' = h - d = 800 \text{ mm} - 692 \text{ mm} = 108 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 400} \cdot 692 = 415,2 \text{ mm}$$

$$x \leq 0,75 \times 444,3 = 311,4 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } x = 200 \text{ mm}$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 = \left(1 - \frac{108}{200}\right) \times 600 = 276 \text{ Mpa}$$

karena $f_s' = 276 < f_y = 400 \text{ Mpa} \rightarrow$ tul. tekan tidak leleh
Tulangan tumpuan atas (tarik)

Menurut data *As Built* Drawing, pada komponen balok sekunder yang ditinjau terpasang **13 D22** ($4941,73 \text{ mm}^2$) pada bagian tumpuan atas. Sedangkan pada tulangan tumpuan bawah menurut data *As Built* Drawing, pada komponen balok yang ditinjau terpasang **7 D22** ($2660,93 \text{ mm}^2$)

$$A_s = 4941,73 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 2660,93 \text{ mm}^2$$

Cek kondisi penampang

$$a = \frac{(A_s f_y - A_s' f_s')}{0,85 x f_c x b} = \frac{(1701,17 \times 400 - 850,58 \times 362)}{0,85 \times 35 \times 300} = 41,74 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{41,74}{0,8} = 52,1 \text{ mm}$$

$$0,375 d_t = 0,375 \times 740,5 = 277,68 \text{ mm}$$

$c < 0,375 d_t \rightarrow$ penampang *tension controlled* (asumsi awal benar)

Cek batas penulangan

Jumlah tulangan tidak boleh kurang dari $1,4 b_w d / f_y$ dan

$\frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d$, serta rasio tulangan, ρ , tidak melebihi 0,025 (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$1,4 b_w d / f_y = 1,4 \times 300 \times 740,5 / 400 = 777,525 \text{ mm}^2$$

$$\frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d = \left(\frac{0,25 \sqrt{35}}{400} \right) 300 \cdot 740,5 = 821,41 \text{ mm}^2$$

As tulangan terpasang $> \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} b_w d$ (Memenuhi)

- Cek momen nominal aktual

$$a = \frac{(A_s f_y - A'_s f'_s)}{0,85 x f_c x b} = \frac{(4941,73 x 400 - 2660,93 x 276)}{0,85 x 35 x 300} = 104,4 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_n = 0,9 x 0,85 x 35 x 300 x 104,4 \left(692 - \frac{104,4}{2}\right) + 2660,93 x 276 (692 - 108)$$

$$\phi M_n \geq M_n = 1144229272 \text{ Nmm} \geq 1060966667 \text{ Nmm}$$

*) kapasitas penampang masih mencukupi

Lapangan

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \left(\frac{28-35}{28-35}\right)(0,85 - 0,8) = 0,8$$

Dianalisa menggunakan tulangan rangkap, Cek momen nominal aktual

$$M_{u \text{ tump1}} = 721,98 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{721980000}{0,9} = 802200000 \text{ Nmm}$$

$$x \leq 0,75 x 415,2 = 311,4 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } x = 150 \text{ mm}$$

$$f'_s = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 = \left(1 - \frac{108}{150}\right) x 600 = 168 \text{ Mpa}$$

karena $f'_s = 362 < f_y = 400 \text{ Mpa} \rightarrow$ tul. tekan tidak leleh

Tulangan tumpuan atas (tarik)

Menurut data *As Built* Drawing, pada komponen balok sekunder yang ditinjau terpasang **14 D22** ($5321,86 \text{ mm}^2$) pada bagian tumpuan atas. Sedangkan pada tulangan tumpuan bawah

menurut data *As Built Drawing*, pada komponen balok yang ditinjau terpasang **7 D22** (2660,93 mm²)

$$A_s = 5321,86 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 2660,93 \text{ mm}^2$$

Cek kondisi penampang

$$a = \frac{(A_s f_y - A_s' f_s')}{0,85 f_c x b} = \frac{(5321,86 \times 400 - 2660,93 \times 168)}{0,85 \times 35 \times 400} = 128,55 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{128,55}{0,8} = 160,68 \text{ mm}$$

$$0,375 d_t = 0,375 \times 740,5 = 277,68 \text{ mm}$$

$c < 0,375 d_t \rightarrow$ penampang *tension controlled* (asumsi awal benar)

Cek batas penulangan

Jumlah tulangan tidak boleh kurang dari $1,4 b_w d / f_y$ dan

$\frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d$, serta rasio tulangan, ρ , tidak melebihi 0,025 (SNI

2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$1,4 b_w d / f_y = 1,4 \times 300 \times 740,5 / 400 = 777,525 \text{ mm}^2$$

$$\frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d = \left(\frac{0,25 \sqrt{35}}{400} \right) 300 \times 740,5 = 821,41 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tulangan terpasang} > \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d \quad (\text{Memenuhi})$$

- Cek momen nominal aktual

$$a = \frac{(A_s f_y - A_s' f_s')}{0,85 f_c x b} = \frac{(1417,64 \times 400 - 850,58 \times 362)}{0,85 \times 35 \times 300} = 29,03 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 0,85 \times 35 \times 300 \times 29,03 \left(740,5 - \frac{29,03}{2} \right) + 850,58 \times 362 (740,5 - 59,5) = 378974387,9 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n \geq M_n = 1201489829 \text{ Nmm} \geq 802200000 \text{ Nmm}$$

*) kapasitas penampang masih mencukupi

Tumpuan II

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0.85 - \left(\frac{28-35}{28-35}\right)(0.85 - 0.8) = 0.8$$

Dianalisa menggunakan tulangan rangkap, Cek momen nominal aktual

$$M_{u \text{ tump1}} = -873,413 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{873413000}{0.9} = 970458888,9 \text{ Nmm}$$

Ambil harga $x \leq 0,75 x_b$ untuk mencari titik berat, dimana:

$$\text{Tebal efektif balok (d)} = 800 - 40 - 10 - 22/2 - 22 - 25 = 692 \text{ mm}$$

$$d' = h - d = 108 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 400} \cdot 692 = 415,2 \text{ mm}$$

$$x \leq 0,75 x_b = 311,4 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil harga } x = 250 \text{ mm}$$

$$f'_s = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \cdot 600 = \left(1 - \frac{108}{250}\right) \cdot 600 = 340,8 \text{ Mpa}$$

Menurut data *As Built* Drawing, pada komponen balok sekunder yang ditinjau terpasang **11D22** ($4181,46 \text{ mm}^2$) pada bagian lapangan bawah (tarik) dan **6D22** ($2280,8 \text{ mm}^2$) pada lapangan atas (tekan)

$$A_s = 4181,46 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 2280,8 \text{ mm}^2$$

- Cek kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c x b} = \frac{(4181,46 \times 400 - 2280,8 \times 340,8)}{0,85 \times 35 \times 300} = 89,91 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{89,91}{0,8} = 112,38 \text{ mm}$$

$$0,375 d_t = 0,375 \times 692 = 259,5 \text{ mm}$$

$c < 0,375d_t \rightarrow$ penampang *tension controlled* (asumsi awal benar)

- Cek batas penulangan

Jumlah tulangan tidak boleh kurang dari $1,4b_w d/f_y$ dan

$\frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$, serta rasio tulangan, ρ , tidak melebihi 0,025 (SNI

2847:2013 pasal 21.5.2.1)

$$1,4b_w d/f_y = 1,4 \times 300 \times 740,5/400 = 777,525 \text{ mm}^2$$

$$\frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d = \left(\frac{0,25\sqrt{35}}{400}\right) 300 \times 740,5 = 821,41 \text{ mm}^2$$

As tulangan terpasang $> \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$ (Memenuhi)

- Cek momen nominal aktual

$$a = \frac{A_s f_y - A_s' f_s'}{0,85 x f_c x b} = \frac{(4181,46 \times 400 - 2280,8 \times 340,8)}{0,85 \times 35 \times 300} = 89,9 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot 0,85 \cdot a \cdot f_c \cdot b \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot f_s' (d - d')$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 0,85 \times 35 \times 300 \times 104,4 \left(692 - \frac{104,4}{2}\right) + 2660,93 \times 276 \times (692 - 108) = 981215813,6 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n \geq M_n = 981215813,6 \text{ Nmm} \geq 970458888,9 \text{ Nmm}$$

Cek terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 10.6.4

$$\text{Syarat: } s = 380 \left(\frac{280}{f_s}\right) - 2,5c_c$$

$$\text{Dan tidak melebihi dari nilai } 300 \left(\frac{280}{f_y}\right)$$

$$\text{Dimana } f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (400) = 266,67 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 40 \text{ mm}$$

Keterangan:

C_c : jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

F_s = tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan terjadi.

$$s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

$$s = 380 \left(\frac{280}{266,67} \right) - 2,5(40) = 298,99 \text{ mm}$$

Dan,

$$300 \left(\frac{280}{f_y} \right) = 300 \left(\frac{280}{400} \right) = 210 \text{ mm}$$

Maka

$$S_{\text{pasang}} < s$$

$$33,9 \text{ mm} < 210 \text{ mm}$$

(Memenuhi)

5.3.1.3 Evaluasi Kapasitas Geser Balok

Pada analisa kapasitas geser, balok yang menjadi tinjauan memiliki geser ultimit yang terbesar sehingga pada akhir analisa kapasitas geser tidak akan dilakukan rekapitulasi. Hal ini dikarenakan pemasangan tulangan geser pada balok umumnya adalah sama antara balok satu dengan balok lainnya berbeda dengan tulangan lentur (longitudinal) yang dipasang berbeda-beda bergantung letak, dan dimensi sehingga perlu dilakukan rekapitulasi dikarenakan adanya perbedaan kapasitas penampang antar balok. Sehingga, dengan meninjau gaya geser yang terbesar akan mewakili analisa geser seluruh balok pada lantai tersebut.

a) Perhitungan gaya geser pada penampang

Analisa geser pada balok, didapat dari hasil analisa struktur struktur atau dari hasil peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka *joints* di setiap ujung komponen struktur.

Dari perhitungan menggunakan *tributary area* pada komponen balok dan pelat yang menjadi tinjauan, diperoleh nilai W_u akibat gaya gravitasi yang bekerja pada struktur.

$$W_u = 36,35 \text{ KN/m}$$

Dengan bentang bersih komponen balok sebagai berikut

$$L_n = 9,15 - 0,8 = 8,35 \text{ m}$$

Maka,

$$V_g = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{36,35 \cdot 8,35}{2} = 151,76 \text{ KN}$$

b) Perhitungan Probable Moment Capacities (M_{pr})

Momen tumpuan negatif

$$a = \frac{A_s \cdot 1,25 f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{4941,73 \cdot 1,25 \cdot 400}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 207,64 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^- &= A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 4941,73 \times 1,25 \times 400 \times \left(692 - \frac{207,64}{2} \right) \\ &= 1453,31 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Momen tumpuan positif

$$a = \frac{A_s \cdot 1,25 f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{2660,93 \cdot 1,25 \cdot 400}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 111,80 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^+ &= A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2660,93 \times 1,25 \times 400 \times \left(692 - \frac{111,8}{2} \right) \\ &= 846,31 \text{ KNm} \end{aligned}$$

c) Gaya geser total pada muka tumpuan (muka kolom s/d 2h):

$$\begin{aligned} V_{\text{sway-A}} &= \frac{M_{pr-} + M_{pr+}}{L} + W_u \cdot L/2 \\ &= \frac{1453,31 + 846,31}{8,35} + 151,76 \text{ KN} \\ &= 275,40 + 151,76 \end{aligned}$$

$$= 427,16 \text{ KN}$$

*) *Arah gaya geser keatas, menentukan*

$$\begin{aligned} V_{\text{sway-B}} &= \frac{M_{\text{pr-}} + M_{\text{pr+}}}{L} - W_u.L/2 \\ &= \frac{1453,31 + 846,31}{8,35} - 151,76 \text{ KN} \\ &= 123,64 \text{ kN} \end{aligned}$$

SNI 2847-2013, Pasal 21.5.4.2 menyatakan bahwa kontribusi beton dalam menahan geser, yaitu V_c , harus diambil = 0, apabila;

1. Gaya geser $V_{\text{sway-A}}$, akibat sendi plastis di ujung ujung balok melebihi $\frac{1}{2}$ atau lebih kuat geser perlu maksimum, V_u , di sepanjang bentang

$$\begin{aligned} V_{\text{sway-B}} &= 275,40 \geq 0,5.427,16 \\ &= 275,40 \geq 213,6 \end{aligned}$$

2. Gaya tekan aksial terfaktor, termasuk akibat pembebanan gempa kurang dari $A_g f_c' / 20$.

Gaya tekan aksial terfaktor yang diperoleh dari analisa struktur dengan kombinasi pembebanan gempa sebesar 118,147 kN. Sedangkan $A_g f_c' / 20 = ((400 \times 800) \times 35) / 20 = 560 \text{ kN}$.

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_e}{\phi} - V_c \quad (\text{SNI 03-2847-2002 psl.13.5.4.1}) \\ &= \frac{427,16}{0,75} - 0 = 569,55 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat spasi maksimum tulangan geser balok menurut SNI 2847:2013 ps 21.5.3(2):

$$s < d/4 = 692/4 = 173 \text{ mm}$$

$$s < 6D \text{ tulangan memanjang} = 6 \times 22 = 132 \text{ mm (menentukan)}$$

$$s < 150 \text{ mm}$$

Senggang pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Pada daerah lapangan syarat maksimum tulangan geser balok menurut SNI-2847-2002 pasal 23.3.3(4) :

$$s < d/2 = 692/2 = 396 \text{ mm} \quad (\text{menentukan})$$

Menurut data *As Built Drawing*, tulangan geser terpasang adalah 1,5D10-100, maka;

$$A_v = 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 = 235,62 \text{ mm}^2 ; f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{235,62 \cdot 400 \cdot 692}{100} = 652,2 \text{ kN}$$

e) Analisa penampang geser lapangan

Gaya geser maksimum, V_u , di ujung zona sendi plastis, yaitu sejauh 1600 mm dari muka kolom.

$$V_{u \text{ lap}} = V_{eA} - (2h \cdot W_u) = 427,16 - (1,6 \times 36,35) = 369 \text{ kN}$$

Untuk daerah di daerah luar sendi plastis ini, kuat geser beton diperhitungkan yakni sebesar :

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= \frac{369000}{0,75} - 0,17 \cdot 1 \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 692 = 213,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Pada bentang lapangan, tulangan geser terpasang D10-200

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2 ; f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{157,08 \cdot 400 \cdot 692}{200} = 217,4 \text{ kN}$$

Syarat spasi maksimum tulangan geser balok menurut SNI 2847-2013 Pasal 11.4.5.1, bahwa spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ pada komponen struktur non-prategang.

$$d/2 = 692/2 = 396 \text{ mm}$$

5.3.1.4 Evaluasi Kapasitas Torsi Balok

Dimensi penampang untuk menahan torsi terfaktor T_u diatur sesuai dengan SNI 2847-2013, pasal 11.5.1 (a) dan 11.5.3.1 (a), sebagai berikut:

Untuk komponen struktur non-prategang, besarnya torsi terfaktor T_u harus kurang dari persamaan

$$\phi 0,083 \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) = 0,75 \cdot 0,083 \cdot 1 \sqrt{35} \left(\frac{(400 \times 800)^2}{2(400+800)} \right) \\ = 15,7 \text{ kNm}$$

Besarnya torsi terfaktor yang diperoleh dari hasil analisa struktur adalah 73,74 kNm

$$15,7 \text{ kNm} \leq 73,74 \text{ kNm} \quad (\text{Tidak Memenuhi Syarat})$$

Penampang balok yang ditinjau tidak memenuhi persyaratan penampang, selanjutnya cek persyaratan kedua untuk menentukan kekuatan kapasitas penampang dalam menerima torsi.

Untuk komponen non-prategang dengan penampang solid, kekuatan momen torsi pada penampang harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{427,89 \cdot 10^3}{400 \cdot 692} \right)^2 + \left(\frac{73,74 \cdot 10^6 (2 (720+320))}{1,7 (720 \cdot 420)^2} \right)^2} = 2,29 \text{ Mpa} \\ 0,75 \left(\frac{0,017 \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 692}{400 \cdot 692} + 0,66 \sqrt{35} \right) = 3,00 \text{ Mpa}$$

$$2,29 \leq 3,00 \quad (\text{Memenuhi Syarat})$$

Karena penampang masih memenuhi persyaratan kedua untuk torsi, maka selanjutnya dilakukan perhitungan mengenai kebutuhan tulangan torsi, namun karena pada data *As Built Drawing* tidak diketahui adanya tulangan torsi, perhitungan tulangan torsi akan dilakukan pada bab selanjutnya.

5.3.1.5 Kontrol Retak Balok

Nilai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar. Selain itu spasi tulangan yang berada paling dekat dengan permukaan tarik tidak boleh lebih.

$$S = 380 \left(\frac{280}{f_y} \right) - 2,5 C_c$$

$$S = 380 \left(\frac{280}{266,6} \right) - 2,5 \times 40 = 299,1 \text{ mm}$$

Dan tidak boleh lebih dari

$$S = 380 \left(\frac{252}{266,6} \right) = 359,2 \text{ mm}$$

5.3.1.6 Rekapitulasi Kapasitas Balok Induk

Lantai	Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
			Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
GF	A-B:1-2	BI (400x900)	586.8	464.88	294.21	787.11	787.11	787.11	Safe
	A-B:2-3	BI (400x800)	425.023	478.65	301.64	677.22	677.22	677.22	Safe
	A-B:3-4	BI (400x900)	483.28	574.13	303.9	787.11	787.11	941.51	Safe
	A-B:1-2	BI (350x800)	404.53	430.85	203.688	451.98	599.97	528.7	Safe
	A-B:2-3	B1 (400x800)	393.08	495.017	244.21	545.59	545.59	679.47	Safe
	A-B:3-4	BI (350x800)	473.13	149.75	210.04	544.44	544.44	544.44	Safe
	B:1-2	BI (350x800)	404.53	430.85	203.68	544.44	544.44	611.68	Safe
	G:3-4	B1 (350x800)	578.76	675.23	398.23	677.67	940.68	940.68	Safe
	J:3-4	BI (350x800)	412.34	454.23	243.56	611.68	611.68	611.68	Safe
	1:J-K	BI (350x800)	702.2	498.07	455.55	544.4	544.4	544.4	Not Safe
	2:J-K	BI (350x800)	901.01	1102.95	607.28	758.78	854.28	758.78	Not Safe
	3:K-I	BI (350x800)	675.105	892.09	494.38	758.78	758.78	758.78	Not Safe
	4:H-K	BI (350x800)	407.78	504.87	398.88	506.62	506.62	506.62	Safe
	2:H-J	BI (350x800)	677.54	654.23	453.23	854.28	668.63	758.78	Safe

GF	2:C-H	BI (350x800)	546.34	612.34	433.76	668.63	758.78	668.63	Safe
	2:B-C	BI (350x800)	535.43	689.98	476.57	668.63	572.86	480.47	Not Safe
	3:I-G	BI (350x800)	394.43	369.9	191.03	758.78	668.63	758.78	Safe
	3:F-G	BI (350x800)	428.54	534.23	423.32	668.63	758.78	668.63	Safe
	3:E-F	BI (350x800)	546.34	458.67	345.89	668.63	480.47	758.78	Safe
	3:E-D	BI (350x800)	451.45	230.45	256.56	480.47	480.47	480.47	Safe
	3:A-D	BI (350x800)	564.34	454.32	546.23	668.63	758.78	668.63	Safe
	4:G-H	BI (300x800)	343.23	467.34	345.68	505.58	713.93	574.22	Safe
	4:A-G	BI (350x800)	368.49	434.56	274.98	505.58	505.58	574.22	Safe
	5:F-G	BI (300x850)	564.32	342.23	498.76	760.72	465.14	617.12	Safe
	5:A-F	BI (300x850)	321.45	443.67	329.78	465.14	465.14	617.12	Safe
Lantai	Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
			Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
2	A-B:1-2	BI (400x800)	464.12	458.76	345.54	379.01	573.19	297.35	Not Safe
	A-B:2-3	BI (400x850)	565.34	434.25	542.12	616.04	541.44	616.04	Safe
	A-B:1-2	BI (300x800)	867.43	756.34	343.21	708.65	767.05	941.51	Not Safe
	A-B:3-4	BI (300x600)	234.43	316.76	340.13	252.11	252.11	350.81	Not Safe
	C:1-2	B1 (400x800)	467.04	532.62	244.12	573.19	645.07	503.69	Safe
	B-I:3-4	BI (400x800)	454.23	467.78	342.12	503.69	503.69	372.38	Safe
	B:1-2	BI (400x800)	305.34	564.23	310.78	372.38	573.19	503.69	Safe
	E:1-2	B1 (400x800)	564.34	454.23	311.775	573.19	573.19	503.69	Safe
	F-H:1-2	BI (350x800)	362.34	545.34	312.77	372.38	573.19	503.69	Safe

2	J:1-2	BI (400x800)	778.87	621.56	487.88	713.49	444.51	503.69	Safe
	J:2-3	BI (400x800)	516.38	441.04	413.58	713.49	713.49	645.07	Safe
	J:3-4	BI (400x800)	523.645	424.705	451.6325	713.49	444.61	372.38	Safe
	K:1-4	BI (400x800)	530.91	408.37	489.685	444.51	444.51	297.35	Safe
	1:J-K	BI (400x800)	738.175	592.035	527.7375	645.07	573.19	444.51	Not Safe
	2-3:J-K	BI (400x800)	972.65	1080.23	878.97	1156.95	1046.34	1239.8	Safe
	2:H-J	BI (400x800)	998.65	678.34	603.8425	1046.34	762.92	670.58	Safe
	2:C-H	BI (400x800)	559.97	343.03	641.895	762.92	762.92	670.58	Safe
	3:I-J	BI (400x800)	907.34	878.54	567.45	1046.34	949.93	670.58	Safe
	3:G-1	BI (400x800)	912.34	862.33	675.34	949.93	949.93	949.93	Safe
	3:F-G	BI (400x800)	843.67	657.67	752.12	949.93	762.92	762.92	Safe
	3:D-F	BI (400x800)	755.34	675.34	454.21	762.92	762.92	670.58	Safe
	3:B-D	BI (400x800)	667.01	693.01	556.3	762.92	949.93	859.21	Safe
	4:J-K	BI (400x800)	578.68	510.68	441.61	645.07	573.19	444.51	Safe
	4:I-J	BI (400x800)	490.35	428.35	439.52	573.19	573.19	503.69	Safe
	4:B-1	BI (400x800)	702.02	763.23	431.67	573.19	573.19	432.83	Not Safe

Lantai	Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
			Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
P1	A':1-2	BI (300x850)	598.23	343.23	203.44	647.87	431.7	408.79	Safe
	A:1-2	BI (350x850)	338.43	304.83	336.35	647.87	647.87	408.79	Safe
	A-B':1-2	BI (300x850)	743.61	624.56	412.45	647.87	647.87	487.2	Not Safe
	A-B:1-2	BI (350x850)	543.34	624.66	321.56	451.98	599.97	528.7	Not Safe
	B-J:1-2	B1 (350x850)	481.42	337.71	408.32	647.87	408.79	487.2	Safe
	K:1-2	BI (300x900)	533.875	347.58	367.34	658.88	820.6	415.17	Safe
	1:J-K	BI (350x850)	586.33	765.43	593.02	1112.4	915.79	1010.22	Safe
	2:J-K	BI (400x900)	787.34	824.35	685.37	1191.6	1081.94	1081.94	Safe
	2:C-J	BI (350x850)	691.24	745.34	577.72	1010.22	1010.22	716.62	Safe
	2:A-B	BI (400x900)	595.14	666.33	470.07	1010.22	915.79	1191.6	Safe
	Lantai P1.A								
Lantai	Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
			Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
P.1A	A':1-2	BI (300x850)	447.34	421.45	345.45	647.87	431.7	408.79	Safe
	A:1-2	BI (350x850)	443.34	324.56	321.56	647.87	647.87	408.79	Safe
	A-B':1-2	BI (300x850)	681.42	737.71	408.32	647.87	647.87	487.2	Not Safe
	A-B:1-2	BI (350x850)	557.83	542.10	509.98	451.98	599.97	528.7	Not Safe
	B-J:1-2	B1 (350x850)	624.66	604.34	348.67	647.87	408.79	487.2	Safe
	K:1-2	BI (300x900)	691.49	705.86	314.45	658.88	820.6	415.17	Safe
	1:J-K	BI (350x850)	758.32	361.83	803.79	1112.4	915.79	1010.22	Safe
	2:J-K	BI (400x900)	825.15	678.65	901.73	1191.6	1081.94	1081.94	Safe
	2:C-J	BI (350x850)	891.98	874.43	999.67	1010.22	1010.22	716.62	Safe
	2:A-B	BI (400x900)	958.81	381.56	1097.60	1010.22	915.79	1191.6	Safe

Lantai	Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
			Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
P2	A':1-2	BI (300x850)	564.34	454.32	546.23	647.87	431.7	408.79	Safe
	A:1-2	BI (350x850)	743.23	667.34	345.68	647.87	647.87	408.79	Not Safe
	A-B':1-2	BI (300x850)	368.49	434.56	274.98	647.87	647.87	487.2	Safe
	A-B:1-2	BI (350x850)	629.50	732.31	317.10	451.98	599.97	528.7	Not Safe
	B-J:1-2	B1 (350x850)	455.34	309.45	454.23	647.87	408.79	487.2	Safe
	K:1-2	BI (300x900)	837.96	567.00	528.02	658.88	820.6	415.17	Not Safe
	1:J-K	BI (350x850)	481.39	204.44	617.65	1112.4	915.79	1010.22	Safe
	2:J-K	BI (400x900)	524.81	841.79	707.27	1191.6	1081.94	1081.94	Safe
	2:C-J	BI (350x850)	968.74	879.67	696.90	1010.22	1010.22	716.62	Safe
	2:A-B	BI (400x900)	978.45	916.78	886.52	1010.22	915.79	1191.6	Safe

Lantai P2.A

Lantai	Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
			Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
P.2A	A':1-2	BI (300x850)	428.54	534.23	423.32	647.87	431.7	408.79	Safe
	A:1-2	BI (350x850)	546.34	458.67	345.89	647.87	647.87	408.79	Safe
	A-B':1-2	BI (300x850)	451.45	730.45	256.56	647.87	647.87	487.2	Not Safe
	A-B:1-2	BI (350x850)	564.34	454.32	546.23	451.98	599.97	528.7	Safe
	B-J:1-2	B1 (350x850)	575.795	302.43	462.85	647.87	408.79	487.2	Safe
	K:1-2	BI (300x900)	607.046	655.635	490.79	658.88	820.6	415.17	Not Safe
	1:J-K	BI (350x850)	938.69	877.65	987.54	1112.4	915.79	1010.22	Safe
	2:J-K	BI (400x900)	996.45	1020.65	878.45	1191.6	1081.94	1081.94	Safe
	2:C-J	BI (350x850)	964.32	980.45	676.34	1010.22	1010.22	716.62	Safe
	2:A-B	BI (400x900)	898.34	903.23	787.34	1010.22	915.79	1191.6	Safe

Lantai	Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
			Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
P3	A':1-2	BI (300x850)	743.45	652.34	345.68	647.87	431.7	408.79	Not Safe
	A:1-2	BI (350x850)	546.78	534.34	374.98	647.87	647.87	408.79	Safe
	A-B':1-2	BI (300x850)	729.50	732.31	317.10	647.87	647.87	487.2	Not Safe
	A-B:1-2	BI (350x850)	455.34	309.45	454.23	451.98	599.97	528.7	Safe
	B-J:1-2	B1 (350x850)	437.96	267.00	428.02	647.87	408.79	487.2	Safe
	K:1-2	BI (300x900)	582.73	670.80	409.60	658.88	820.6	415.17	Safe
	1:J-K	BI (350x850)	986.15	866.79	749.50	1112.4	915.79	1010.22	Safe
	2:J-K	BI (400x900)	989.34	895.62	854.96	1191.6	1081.94	1081.94	Safe
	2:C-J	BI (350x850)	895.41	987.34	710.56	1010.22	1010.22	716.62	Safe
	2:A-B	BI (400x900)	999.64	1003.40	1065.88	1010.22	915.79	1191.6	Safe

Lantai P3.A

Lantai	Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
			Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
P.3A	A':1-2	BI (300x850)	643.34	424.56	421.56	647.87	431.7	408.79	Not Safe
	A:1-2	BI (350x850)	481.42	337.71	408.32	647.87	647.87	408.79	Safe
	A-B':1-2	BI (300x850)	533.88	347.58	367.34	647.87	647.87	487.2	Safe
	A-B:1-2	BI (350x850)	586.33	565.98	393.02	451.98	599.97	528.7	Safe
	B-J:1-2	B1 (350x850)	631.60	398.87	454.00	647.87	408.79	487.2	Safe
	K:1-2	BI (300x900)	579.34	710.20	347.87	658.88	820.6	415.17	Safe
	1:J-K	BI (350x850)	727.88	1043.43	770.59	1112.4	915.79	1010.22	Safe
	2:J-K	BI (400x900)	776.03	1008.97	847.94	1191.6	1081.94	1081.94	Safe
	2:C-J	BI (350x850)	824.17	934.87	715.87	1010.22	1010.22	716.62	Safe
	2:A-B	BI (400x900)	872.31	1003.40	768.98	1010.22	915.79	1191.6	Safe

Lantai	Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
			Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
P3 Mezz	A':1-2	BI (300x850)	568.49	444.56	274.98	647.87	431.7	408.79	Not Safe
	A:1-2	BI (350x850)	229.50	432.31	317.10	647.87	647.87	408.79	Safe
	A-B':1-2	BI (300x850)	455.34	309.45	454.23	647.87	647.87	487.2	Safe
	A-B:1-2	BI (350x850)	467.96	567.00	328.09	451.98	599.97	528.7	Not Safe
	B-J:1-2	B1 (350x850)	338.43	304.83	336.35	647.87	408.79	487.2	Safe
	K:1-2	BI (300x900)	747.76	654.56	439.20	658.88	820.6	415.17	Not Safe
	1:J-K	BI (350x850)	443.34	324.56	321.56	1112.4	915.79	1010.22	Safe
	2:J-K	BI (400x900)	481.42	337.71	408.32	1191.6	1081.94	1081.94	Safe
	2:C-J	BI (350x850)	557.83	342.10	509.98	1010.22	1010.22	716.62	Safe
	2:A-B	BI (400x900)	624.66	348.67	607.92	1010.22	915.79	1191.6	Safe

Lantai	Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
			Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
3	A-B:1-2	BI (400x900)	368.49	434.56	274.98	787.11	787.11	787.11	Safe
	A-B:2-3	BI (400x800)	229.50	432.31	317.10	677.22	677.22	677.22	Safe
	A-B:3-4	BI (400x900)	455.34	309.45	454.23	787.11	787.11	941.51	Safe
	A-B:1-2	BI (350x800)	437.96	267.00	528.02	451.98	599.97	528.7	Safe
	A-B:2-3	BI (400x800)	481.42	337.71	408.32	545.59	545.59	679.47	Safe
	A-B:3-4	BI (350x800)	557.83	342.10	509.98	544.44	544.44	544.44	Safe
	B:1-2	BI (350x800)	624.66	604.34	348.67	544.44	544.44	611.68	Safe
	G:3-4	BI (350x800)	691.49	705.86	314.45	677.67	940.68	940.68	Safe
	J:3-4	BI (350x800)	758.32	361.83	803.79	611.68	611.68	611.68	Safe
	1:J-K	BI (350x800)	546.34	458.67	345.89	544.4	544.4	544.4	Not Safe
	2:J-K	BI (350x800)	451.45	230.45	256.56	758.78	854.28	758.78	Safe
	3:K-I	BI (350x800)	564.34	454.32	546.23	758.78	758.78	758.78	Safe
	4:H-K	BI (350x800)	343.23	467.34	345.68	506.62	506.62	506.62	Safe
	2:H-J	BI (350x800)	368.49	434.56	274.98	854.28	668.63	758.78	Safe
3	2:C-H	BI (350x800)	229.50	432.31	317.10	668.63	758.78	668.63	Safe
	2:B-C	BI (350x800)	455.34	309.45	454.23	668.63	572.86	480.47	Safe
	3:I-G	BI (350x800)	437.96	267.00	428.02	758.78	668.63	758.78	Safe
	3:F-G	BI (350x800)	582.73	670.80	409.60	668.63	758.78	668.63	Safe
	3:E-F	BI (350x800)	986.15	866.79	749.50	668.63	480.47	758.78	Safe
	3:E-D	BI (350x800)	443.34	324.56	321.56	480.47	480.47	480.47	Safe
	3:A-D	BI (350x800)	481.42	337.71	408.32	668.63	758.78	668.63	Safe
	4:G-H	BI (300x800)	557.83	342.10	509.98	505.58	713.93	574.22	Safe
	4:A-G	BI (350x800)	624.66	604.34	348.67	505.58	505.58	574.22	Safe
	5:F-G	BI (300x850)	697.88	694.68	362.68	760.72	465.14	617.12	Not Safe
	5:A-F	BI (300x850)	769.50	827.99	332.85	465.14	465.14	617.12	Not Safe

Lantai	Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
			Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
4	A-B:1-2	BI (400x900)	481.42	337.71	408.32	787.11	787.11	787.11	Safe
	A-B:2-3	BI (400x800)	557.83	342.10	509.98	677.22	677.22	677.22	Safe
	A-B:3-4	BI (400x900)	624.66	604.34	348.67	787.11	787.11	941.51	Safe
	A-B:1-2	BI (350x800)	691.49	705.86	314.45	451.98	599.97	528.7	Safe
	A-B:2-3	B1 (400x800)	758.32	361.83	803.79	545.59	545.59	679.47	Safe
	A-B:3-4	BI (350x800)	546.34	458.67	345.89	544.44	544.44	544.44	Safe
	B:1-2	BI (350x800)	451.45	230.45	256.56	544.44	544.44	611.68	Safe
	G:3-4	B1 (350x800)	564.34	454.32	546.23	677.67	940.68	940.68	Safe
	J:3-4	BI (350x800)	575.795	302.43	462.85	611.68	611.68	611.68	Safe
	1:J-K	BI (350x800)	607.046	255.635	490.79	544.4	544.4	544.4	Safe
	2:J-K	BI (350x800)	567.43	456.34	343.21	758.78	854.28	758.78	Safe
	3:K-I	BI (350x800)	234.43	216.76	340.13	758.78	758.78	758.78	Safe
4	4:H-K	BI (350x800)	467.04	532.62	244.12	506.62	506.62	506.62	Safe
	2:H-J	BI (350x800)	454.23	467.78	342.12	854.28	668.63	758.78	Safe
	2:C-H	BI (350x800)	305.34	564.23	310.78	668.63	758.78	668.63	Safe
	2:B-C	BI (350x800)	564.34	454.23	311.775	668.63	572.86	480.47	Safe
	3:I-G	BI (350x800)	455.34	309.45	454.23	758.78	668.63	758.78	Safe
	3:F-G	BI (350x800)	437.96	267.00	428.02	668.63	758.78	668.63	Safe
	3:E-F	BI (350x800)	582.73	670.80	409.60	668.63	480.47	758.78	Safe
	3:E-D	BI (350x800)	586.15	466.79	449.50	480.47	480.47	480.47	Not Safe
	3:A-D	BI (350x800)	989.34	895.62	854.96	668.63	758.78	668.63	Safe
	4:G-H	BI (300x800)	564.34	454.32	546.23	505.58	713.93	574.22	Safe
	4:A-G	BI (350x800)	575.795	302.43	462.85	505.58	505.58	574.22	Safe
	5:F-G	BI (300x850)	607.046	255.635	490.79	760.72	465.14	617.12	Not Safe
	5:A-F	BI (300x850)	978.45	916.78	886.52	465.14	465.14	617.12	Safe

Lantai	Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
			Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
5	A-B:1-2	BI (400x900)	557.83	342.10	509.98	787.11	787.11	787.11	Safe
	A-B:2-3	BI (400x800)	624.66	604.34	348.67	677.22	677.22	677.22	Safe
	A-B:3-4	BI (400x900)	691.49	705.86	314.45	787.11	787.11	941.51	Safe
	A-B:1-2	BI (350x800)	758.32	361.83	803.79	451.98	599.97	528.7	Safe
	A-B:2-3	B1 (400x800)	447.34	421.45	345.45	545.59	545.59	679.47	Safe
	A-B:3-4	BI (350x800)	443.34	624.76	321.56	544.44	544.44	544.44	Not Safe
	B:1-2	BI (350x800)	481.42	337.71	408.32	544.44	544.44	611.68	Safe
	G:3-4	B1 (350x800)	557.83	342.10	509.98	677.67	940.68	940.68	Safe
	J:3-4	BI (350x800)	481.42	337.71	408.32	611.68	611.68	611.68	Safe
	1:J-K	BI (350x800)	557.83	342.10	509.98	544.4	544.4	544.4	Not Safe
	2:J-K	BI (350x800)	624.66	604.34	348.67	758.78	854.28	758.78	Safe
	3:K-I	BI (350x800)	691.49	705.86	314.45	758.78	758.78	758.78	Safe
5	4:H-K	BI (350x800)	758.32	361.83	803.79	506.62	506.62	506.62	Safe
	2:H-J	BI (350x800)	546.34	458.67	345.89	854.28	668.63	758.78	Safe
	2:C-H	BI (350x800)	451.45	230.45	256.56	668.63	758.78	668.63	Safe
	2:B-C	BI (350x800)	564.34	454.32	546.23	668.63	572.86	480.47	Safe
	3:I-G	BI (350x800)	575.795	302.43	462.85	758.78	668.63	758.78	Safe
	3:F-G	BI (350x800)	607.046	255.635	490.79	668.63	758.78	668.63	Safe
	3:E-F	BI (350x800)	567.43	456.34	343.21	668.63	480.47	758.78	Safe
	3:E-D	BI (350x800)	546.34	458.67	345.89	480.47	480.47	480.47	Not Safe
	3:A-D	BI (350x800)	451.45	230.45	256.56	668.63	758.78	668.63	Safe
	4:G-H	BI (300x800)	564.34	454.32	546.23	505.58	713.93	574.22	Safe
	4:A-G	BI (350x800)	343.23	467.34	345.68	505.58	505.58	574.22	Safe
	5:F-G	BI (300x850)	564.34	454.32	546.23	760.72	465.14	617.12	Safe
	5:A-F	BI (300x850)	343.23	467.34	345.68	465.14	465.14	617.12	Safe

Lantai	Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
			Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
6	A-B:1-2	BI (400x900)	564.34	454.32	546.23	787.11	787.11	787.11	Safe
	A-B:2-3	BI (400x800)	343.23	467.34	345.68	677.22	677.22	677.22	Safe
	A-B:3-4	BI (400x900)	368.49	434.56	274.98	787.11	787.11	941.51	Safe
	A-B:1-2	BI (350x800)	229.50	432.31	317.10	451.98	599.97	528.7	Safe
	A-B:2-3	BI (400x800)	455.34	309.45	454.23	545.59	545.59	679.47	Safe
	A-B:3-4	BI (350x800)	575.795	302.43	462.85	544.44	544.44	544.44	Safe
	B:1-2	BI (350x800)	607.046	255.635	490.79	544.44	544.44	611.68	Safe
	G:3-4	BI (350x800)	938.69	877.65	987.54	677.67	940.68	940.68	Not Safe
	J:3-4	BI (350x800)	691.49	604.34	444.98	611.68	611.68	611.68	Safe
	1:J-K	BI (350x800)	758.32	361.83	803.79	544.4	544.4	544.4	Not Safe
	2:J-K	BI (350x800)	546.34	458.67	345.89	758.78	854.28	758.78	Safe
	3:K-I	BI (350x800)	651.45	530.45	456.56	758.78	758.78	758.78	Safe
6	4:H-K	BI (350x800)	424.32	454.32	346.23	506.62	506.62	506.62	Safe
	2:H-J	BI (350x800)	575.80	302.43	462.85	854.28	668.63	758.78	Safe
	2:C-H	BI (350x800)	672.13	722.14	442.96	668.63	758.78	668.63	Safe
	2:B-C	BI (350x800)	436.56	520.54	439.53	668.63	572.86	480.47	Safe
	3:I-G	BI (350x800)	400.69	636.04	436.10	758.78	668.63	758.78	Safe
	3:F-G	BI (350x800)	664.82	644.97	432.67	668.63	758.78	668.63	Safe
	3:E-F	BI (350x800)	528.09	453.87	429.24	668.63	480.47	758.78	Safe
	3:E-D	BI (350x800)	593.88	422.23	425.81	480.47	480.47	480.47	Not Safe
	3:A-D	BI (350x800)	529.65	432.31	317.10	668.63	758.78	668.63	Safe
	4:G-H	BI (300x800)	455.34	309.45	454.23	505.58	713.93	574.22	Safe
	4:A-G	BI (350x800)	437.96	267.00	428.02	505.58	505.58	574.22	Safe
	5:F-G	BI (300x850)	582.73	453.12	409.60	760.72	465.14	617.12	Safe
	5:A-F	BI (300x850)	986.15	866.79	749.50	465.14	465.14	617.12	Not Safe

Lantai	Lokasi As	Type Balok	M. Tump 1	M.Tump 2	M. Lap	Mn. Tump 1	Mn. Tump 2	Mn. Lap	Ket
			Kgm	Kgm	Kgm	KNm	KNm	KNm	
7th - 28th	A-B:1-2	BI (400x900)	447.34	421.45	345.45	787.11	787.11	787.11	Safe
	A-B:2-3	BI (400x800)	443.34	324.56	321.56	677.22	677.22	677.22	Safe
	A-B:3-4	BI (400x900)	481.42	337.71	408.32	787.11	787.11	941.51	Safe
	A-B:1-2	BI (350x800)	557.83	342.10	509.98	451.98	599.97	528.7	Safe
	A-B:2-3	B1 (400x800)	624.66	604.34	348.67	545.59	545.59	679.47	Safe
	A-B:3-4	BI (350x800)	691.49	705.86	314.45	544.44	544.44	544.44	Not Safe
	B:1-2	BI (350x800)	364.12	458.76	245.54	544.44	544.44	611.68	Safe
	G:3-4	B1 (350x800)	565.34	434.25	542.12	677.67	940.68	940.68	Safe
	J:3-4	BI (350x800)	567.43	456.34	343.21	611.68	611.68	611.68	Safe
	1:J-K	BI (350x800)	234.43	216.76	340.13	544.4	544.4	544.4	Not Safe
	2:J-K	BI (350x800)	467.04	532.62	244.12	758.78	854.28	758.78	Safe
	3:K-I	BI (350x800)	454.23	467.78	342.12	758.78	758.78	758.78	Safe
7th - 28th	4:H-K	BI (350x800)	305.34	564.23	310.78	506.62	506.62	506.62	Not Safe
	2:H-J	BI (350x800)	564.34	454.32	546.23	854.28	668.63	758.78	Safe
	2:C-H	BI (350x800)	343.23	467.34	345.68	668.63	758.78	668.63	Safe
	2:B-C	BI (350x800)	368.49	434.56	274.98	668.63	572.86	480.47	Safe
	3:I-G	BI (350x800)	564.32	342.23	498.76	758.78	668.63	758.78	Safe
	3:F-G	BI (350x800)	321.45	443.67	329.78	668.63	758.78	668.63	Safe
	3:E-F	BI (350x800)	455.34	309.45	454.23	668.63	480.47	758.78	Safe
	3:E-D	BI (350x800)	437.96	267.00	428.02	480.47	480.47	480.47	Safe
	3:A-D	BI (350x800)	582.73	670.80	409.60	668.63	758.78	668.63	Safe
	4:G-H	BI (300x800)	986.15	866.79	749.50	505.58	713.93	574.22	Safe
	4:A-G	BI (350x800)	443.34	324.56	321.56	505.58	505.58	574.22	Safe
	5:F-G	BI (300x850)	481.42	337.71	408.32	760.72	465.14	617.12	Safe
	5:A-F	BI (300x850)	986.15	866.79	749.50	465.14	465.14	617.12	Safe

5.3.2 Evaluasi Struktur Kolom

Terdapat beberapa jenis struktur kolom pada gedung One East Residences ini, namun yang akan ditinjau sebagai contoh perhitungan adalah kolom pada lantai GF pada As 2-F, dengan data-data sebagai berikut:

Tinggi kolom	: 4,5 m
Dimensi Kolom	: 800 x 1400mm
Mutu beton f_c'	: 40 Mpa
Mutu baja f_y	: 400 Mpa
Ø tul. memanjang	: D25 mm (ulir)
Ø tul. sengkang	: D13 mm (ulir)

Dari hasil analisa struktur menggunakan SAP2000, didapatkan hasil sebagai berikut:

P_u	= -24427,27 KN
V_u	= -317,29 KN
M_u	= -357,27 KNm

5.3.2.1 Persyaratan sesuai SRPMK

Menurut SNI 2847-2013, mengisyaratkan bahwa komponen penahan gempa SRPMK harus memenuhi hal-hal berikut:

- i) Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom harus melebihi $A_g f_c' / 10$ (SNI2847:2013 pasal 21.6.1).

$$P_u = 24427,27 \text{ KN}$$

$$A_g f_c' / 10 = 3920 \text{ KN}$$

$$P_u \geq A_g f_c' / 10 \quad (\text{Memenuhi})$$

- ii) Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm (SNI 2847:2013, pasal 21.6.1.1)

$$\text{Sisi terpendek kolom} = 800 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

- iii) Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4 (SNI 2847:2013 pasal 21.6.1.2)

$$\frac{b}{h} = \frac{800}{1400} = 0,571 \geq 0,4 \quad (\text{Memenuhi})$$

Dari segi persyaratan SRPMK, struktur kolom pada gedung one east residences telah memenuhi persyaratan yang ada.

5.3.2.2 Analisa Konfigurasi Penulangan

Pada komponen kolom yang ditinjau, menurut data *As Built* Drawing, konfigurasi tulangan longitudinal terpasang adalah 32 D25. Luas tulangan longitudinal penahan lentur tidak boleh kurang dari 0,01 A_g atau lebih dari 0,06 A_g (SNI32847:2013 pasal 21.6.3.1).

$$\rho_g = \frac{15707,96 \text{ mm}^2}{(800 \times 1200)} = 0,016$$

Persyaratan *Strong Column Weak Beam*

Kekuatan kolom ϕM_n harus memenuhi

$$\sum M_c \geq 1,2 \sum M_g$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.6.2.2).

Dimana;

$\sum M_c$ = Jumlah M_n dua kolom yang bertemu di join

$\sum M_g$ = Jumlah M_n dari 2 balok yang bertemu di join (termasuk dari sumbangan tulangan pelat di sekebar efektif pelat lantai)

a) Menentukan nilai $\sum M_g$

- Menentukan lebar efektif balok

$$b_e = b_w + 2 h_w = 400 + 2 (800-180) = 1640 \text{ mm (Menentukan)}$$

$$b_e = b_w + 2 h_f = 400 + 8 (180) = 1840 \text{ mm}$$

$$\text{As tul atas balok} = 8 \text{ D22 } (3041,06 \text{ mm}^2)$$

$$\text{As tul bawah balok} = 4 \text{ D22 } (1520,53 \text{ mm}^2)$$

$$\text{As tul pelat} = \text{D8-150 } (351,86 \text{ mm}^2)$$

Luas tul. atas ($A_{s\text{tarik}}$)

$$\begin{aligned}
 &= A_{s \text{ balok}} + A_{s \text{ pelat}} \\
 &= 3041,06 + 703,72 = 3744,78 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$y = \frac{3744,78 \times \left(40 + 10 + 22 + \frac{22}{2}\right) + \left(7 \times \frac{\pi}{4} \times 8^2\right) \left(22 + \frac{8}{2}\right) + \left(4 \times \frac{\pi}{4} \times 8^2\right) \left(180 - 22 - \frac{8}{2}\right)}{3744,78}$$

$$y = 93,7 \text{ mm}$$

$$d_{\text{atas}} = 800 - y = 800 - 93,7 = 706,3 \text{ mm}$$

$$d_{\text{bawah}} = (800 - 40 - 10 - (1/2 \times 22)) = 739 \text{ mm}$$

- Menentukan nilai M_{nb}^+ dan M_{nb}^-

$$a = \frac{A_s f_y}{\beta \cdot f'_c \cdot b} = \frac{1520,53 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} = 51,1 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nb}^+ &= \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 0,9 \times 1520,53 \times 400 (739 - 51,1/2) \\
 &= 390,54 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

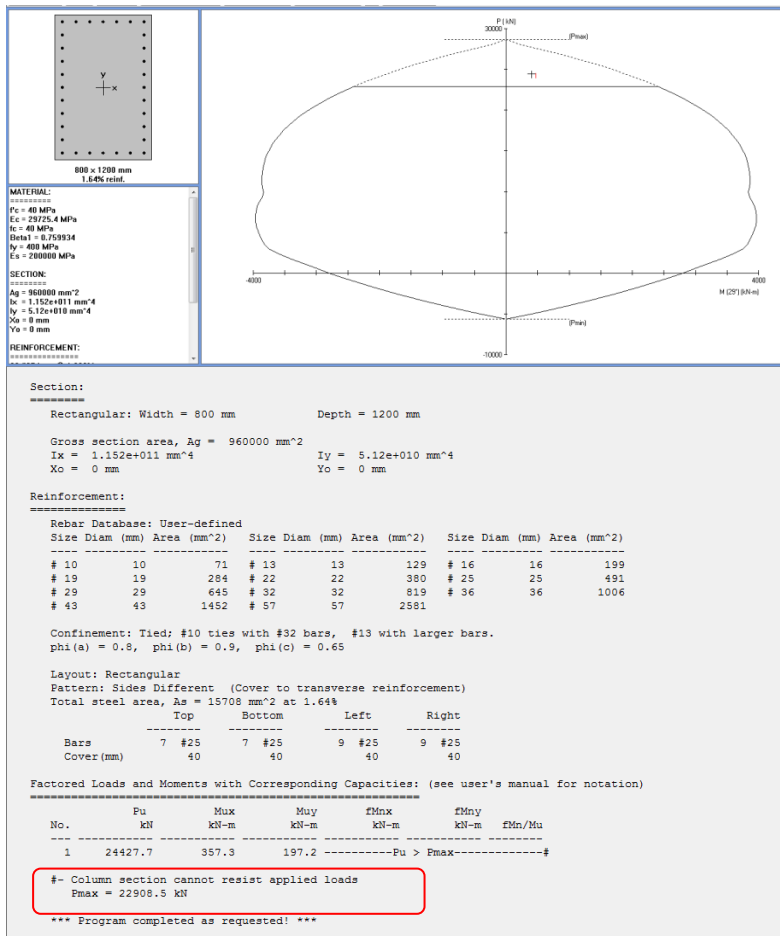
$$a = \frac{A_s f_y}{\beta \cdot f'_c \cdot b} = \frac{3744,78 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} = 125,87 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nb}^- &= \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 0,9 \times 3744,78 \times 400 (706,3 - 125,87/2) \\
 &= 867,34 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$\sum M_g = M_{nb}^+ + M_{nb}^- = 390,54 + 867,34 = 1257,88 \text{ KNm}$$

- b) Menentukan nilai M_{nc}

Nilai M_{nc} didapat dari diagram interaksi P - M dengan menggunakan bantuan *software* PCACOL. Dengan memasukkan data penulangan *As Built Drawing*, serta hasil gaya aksial dari analisa permodelan menggunakan SAP2000, maka diketahui kapasitas kolom dalam menerima aksial yang terjadi.



Gambar 5. 10 Hasil Analisa PCACOL

Dari gambar diatas, diperoleh hasil analisis PCACOL bahwa penampang kolom yang ditinjau tidak mampu menahan gaya aksial yang terjadi. Maka dari itu, perhitungan mengenai kuat kolom tidak dapat dilakukan.

Evaluasi tulangan transversal sebagai *confinement*.

Dalam peninjauan tulangan transversal sebagai *confinement* pada kolom, SNI 2847-2013 pasal 21.6.4.1 mengisyaratkan beberapa hal mengenai daerah pemasangan tulangan sengkang tertutup (*hoop*). Pada elemen kolom yang ditinjau, tipe tulangan *confinement* yang digunakan adalah jenis *cross ties* atau tulangan *confinement* terbuka. Tulangan *confinement* diperlukan sepanjang l_o dari ujung-ujung kolom dengan l_o merupakan nilai terbesar dari

- Tinggi komponen struktur di joint, $h = 1400$ mm
- $\frac{1}{6}$ bentang bersih komponen struktur
 $\frac{1}{6} \times (4500-800) = 616,6$ mm
- 450 mm
- a) Tentukan spasi maksimum *hoop*, s_{max} , pada daerah sepanjang l_o dari ujung-ujung kolom. Nilai s_{max} merupakan nilai terbesar dari (SNI2847:2013 pasal 21.6.4.3):
- Seperempat dimensi komponen struktur minimum
 $\frac{800}{4} = 200$ mm
- kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 $6 \times d_b = 6 \times 25 = 150$ mm
- s_o , dengan s_o tidak melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm dan s_o diatur sesuai persamaan berikut;

$$s_o = 100 + \left(\frac{350-h_x}{3} \right)$$

$$s_o = 100 + \left(\frac{350-(1200-2(40)-\frac{13}{2})}{3} \right) = 147,83$$
 mm

Menurut data *As Built Drawing*, pada detail kolom yang ditinjau tulangan *confinement* terpasang D13-100 pada daerah sepanjang l_o . Maka dari itu, tulangan terpasang sesuai persyaratan.

b) Penentuan luas tulangan *confinement*.

Untuk daerah sepanjang l_o dari ujung-ujung kolom total luas penampang *confinement* tidak boleh kurang dari salah satu yang terbesar antara (SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4) :

$$A_{sh1} = 0,3 \left(\frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

dan

$$A_{sh2} = 0,09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}}$$

Tulangan *Confinement* akan ditinjau pada 2 arah berbeda pada setiap penampang kolom, yaitu arah X dan arah Y, dimana pada arah Y, besarnya b_c ditentukan dari perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} b_c &= \text{panjang beton yang terkekang} \\ &= b - 2 (\text{decking} + 0,5 d_b) \\ &= 1200 - 2(40 + 0,5 \times 22) = 1098 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{ch} &= (b - 2t_{\text{decking}}) \times (h - 2t_{\text{decking}}) \\ A_{ch} &= (800 - 2(40)) \times (1200 - 2(40)) = 806400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, perhitungan luas tulangan confinement pada bidang Y dapat dilakukan

$$\begin{aligned} A_{sh1} &= 0,3 \left(\frac{s \cdot b_c \cdot f'_c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ A_{sh1} &= 0,3 \left(\frac{100 \cdot 1098 \cdot 40}{400} \right) \left(\frac{800 \times 1200}{806400} - 1 \right) = 627,43 \text{ mm}^2 \\ A_{sh2} &= 0,09 \left(\frac{s \cdot b_c \cdot f'_c}{f_{yt}} \right) = 0,09 \left(\frac{100 \cdot 1098 \cdot 40}{400} \right) = 988,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Pada arah Y, digunakan sengkang (*Cross Ties*) 6D13-100

$$\begin{aligned} A_{\text{spasang}} &= 6 \times 0,25 \times \pi \times (13)^2 \\ &= 796,4 \text{ mm}^2 > A_{sh} = 988,2 \text{ mm}^2 \dots \text{Tidak memenuhi} \end{aligned}$$

besarnya b_c pada arah X ditentukan dari perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} b_c &= \text{panjang beton yang terkekang} \\ &= b - 2 (\text{decking} + 0,5 d_b) \\ &= 800 - 2(40 + 0,5 \times 25) = 695 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{ch} = (b - 2t_{\text{decking}}) \times (h - 2t_{\text{decking}})$$

$$A_{ch} = (800 - 2(40)) \times (1200 - 2(40)) = 806400 \text{ mm}^2$$

Maka, perhitungan luas tulangan confinement pada bidang Y dapat dilakukan

$$A_{sh1} = 0,3 \left(\frac{s \cdot b_c \cdot f'_c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$A_{sh1} = 0,3 \left(\frac{100 \cdot 695 \cdot 40}{400} \right) \left(\frac{800 \times 1200}{806400} - 1 \right) = 397,14 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0,09 \left(\frac{s \cdot b_c \cdot f'_c}{f_{yt}} \right) = 0,09 \left(\frac{100 \cdot 695 \cdot 40}{400} \right) = 625,5 \text{ mm}^2$$

Pada arah Y, digunakan sengkang (*Cross Ties*) 4D13-100

$$\begin{aligned} A_{spasang} &= 4 \times 0,25 \times \pi \times (13)^2 \\ &= 530,93 \text{ mm}^2 > A_{sh} = 625,5 \text{ mm}^2 \dots \text{Tidak memenuhi} \end{aligned}$$

5.3.2.3 Rekapitulasi Evaluasi Struktur Kolom

Lantai	Type Kolom	D. Lentur	Pu	Pn	MuX	MuY	MnX	MnY	Keterangan
		mm	KN	KN	KNm	KNm	KNm	KNm	OK/NOT OK
B3 - GF	K1	25	26550.59	28268.1	468.75	878.932	4188	2275	OK
	K1.A	25	26222.68	28268.1	824.25	1219.56	4188	2275	OK
	K.2	25	27436.1	28268.1	467.21	645.4	4188	2275	OK
	K.2A	25	27474.55	28268.1	466.88	835.04	4188	2275	OK
	K.2B	25	28612.09	28268.1	288.32	614.05	4188	2275	NOT OK
	K3	22	9450.016	9885.5	1032.25	1015.28	953	353	NOT OK
	K5	22	9242.53	8911.2	119.85	105.92	774	344	NOT OK
	K7	22	6230.5	9885.5	49.1	119.6	953	353	OK
Lantai	Type Kolom	D. Lentur	Pu	Pn	MuX	MuY	MnX	MnY	Keterangan
		mm	KN	KN	KNm	KNm	KNm	KNm	OK/NOT OK
GF - 4	K1	25	22887.52	26420.3	455.83	265.41	3656	2122	OK
	K1.A	25	22058.02	26420.3	856.58	692.77	3565	2122	OK
	K.2	25	24427.7	22908.5	357.07	197.19	2712	1836	NOT OK
	K.2A	25	23865.71	22908.5	143.32	136.28	2712	1836	NOT OK
	K.2B	25	20470.68	22908.5	254.5	167.13	2712	1836	OK
	K3	22	4036.52	8911.2	769.25	1132.52	774	344	NOT OK
	K5	22	8306.6	7936.9	21.9	47.9	614	306	OK
	K7	22	4827.11	9885.5	156.31	82.32	953	353	OK

Lantai	Type Kolom	D. Lentur	Pu	Pn	MuX	MuY	MnX	MnY	Keterangan
		mm	KN	KN	KNm	KNm	KNm	KNm	OK/NOT OK
4th - 24th	K1	22	16629.59	16968.4	335.31	525.39	1993	1016	OK
	K1.A	22	15648.53	16968.4	871.57	926.26	1993	1016	OK
	K.2	22	15682.51	15720.4	342.97	459.76	1686	941	OK
	K.2A	22	15899.06	15720.4	236.04	348.91	1686	941	NOT OK
	K.2B	22	15795.18	15720.4	322.61	377.8	1686	941	NOT OK
	K5	22	6057.116	6962.5	120.03	48.5	470	267	OK

Lantai	Type Kolom	D. Lentur	Pu	Pn	MuX	MuY	MnX	MnY	Keterangan
		mm	KN	KN	KNm	KNm	KNm	KNm	OK/NOT OK
24th - A1	K1	22	3667.29	11976.4	409.01	275.37	916	715	OK
	K1.A	22	2711.66	11976.4	378.46	443.21	916	715	OK
	K.2	22	3187.72	11976.4	519.74	369.06	916	715	OK
	K.2A	22	3486.38	11976.4	336.07	410.43	916	715	OK
	K.2B	22	2633.62	11976.4	364.35	463.05	916	715	OK
	K5	22	1659.43	3831.6	125.43	78.64	176	109	OK

5.3.2.4 Kesimpulan Evaluasi Struktur Kolom

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu PCACOL, diperoleh hasil bahwa tidak semua elemen kolom mampu menahan gaya yang terjadi, terutama adalah gaya aksial. maka dari itu, perlu dilakukan analisa ulang setelah dilakukan modifikasi pemotongan lantai, sebagai contoh akan diambil satu jenis kolom yang berada pada lantai GF. Dari trial and error pertama modifikasi pemotongan lantai, diperoleh hasil sebagai berikut;

Lantai	Type Kolom	D. Lentur	Pu	Pn	MuX	MuY	MnX	MnY	Keterangan
		mm	KN	KN	KNm	KNm	KNm	KNm	OK/NOT OK
GF - 4	K1	25	19675.31	26420.3	455.83	265.41	3656	2122	OK
	K1.A	25	18976.65	26420.3	856.58	692.77	3565	2122	OK
	K.2	25	20987.87	22908.5	357.07	197.19	2712	1836	OK
	K.2A	25	20156.43	22908.5	143.32	136.28	2712	1836	OK
	K.2B	25	16989.01	22908.5	254.5	167.13	2712	1836	OK
	K3	22	3156.22	8911.2	577.32	329.23	774	344	OK
	K5	22	6878.98	7936.9	21.9	47.9	614	306	OK
	K7	22	4827.11	9885.5	156.31	82.32	953	353	OK

Setelah dilakukan percobaan pemotongan lantai pertama kali, dimana jumlah lantai dipotong dari 33 lantai menjadi 28. Diperoleh hasil dimana seluruh kapasitas aksial kolom masih dalam kategori aman.

5.3.3 Analisa Struktur Shearwall

Dinding geser merupakan komponen struktur utama dalam struktur gedung *dual-system* yang berperan besar dalam menahan gaya gempa yang terjadi serta menjadi salah satu komponen pengaku gedung saat gempa terjadi. Gaya – gaya maksimum terjadi pada dasar dinding, meliputi gaya momen maksimum, (M_u) dan geser maksimum (V_u).

Dalam permodelan struktur gedung One East Residences ini terdapat 4 jenis dinding geser, dengan 12 model sectional serta tebal yang bervariasi berkisar dari 30 cm hingga 45 cm. Sebagai contoh perhitungan evaluasi akan digunakan 1 model sectional pada 1 jenis model dinding geser yaitu SW2. Perhitungan dilakukan berdasarkan hasil analisa program bantu SAP 200.

Data data dinding geser yang menjadi tinjauan adalah sebagai berikut:

Data-data perencanaan:

Panjang : 6365 mm

Tinggi : 3700 mm

Tebal : 450 mm

Tebal decking : 40 mm

D. Tulangan : 19/25 mm

Ø. Sengkang : 10 mm

Mutu Tulangan : 400 Mpa

Mutu Sengkang : 400 Mpa

Mutu Beton : 45 Mpa



Gambar 5. 11 Potongan Melintang Dinding Geser

5.3.3.1 Kontrol Ketebalan Terhadap Gaya Geser

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4, kuat geser nominal tiap dinding individual tidak boleh melebihi :

$$0,83 A_{cw} \sqrt{f'c}$$

Dimana :

A_{cw} : Luas penampang dinding yang ditinjau

: $h \times d$ (menurut SNI 2847:2013 pasal 11.9.4, $d=0,8lw$)

$$V_u < 0,83 A_{cw} \sqrt{f'c}$$

$$601969 \text{ N} < 0,83 (400.0,8.6365) \sqrt{45}$$

$$601969 \text{ N} < 11340513,91 \text{ N}$$

Maka, ketebalan *Shear Wall* mampu untuk menahan geser.

5.3.3.2 Kuat Geser Dinding Struktural

Rasio Tulangan Minimum (SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.1)

$$A_{cv} = lw \times tw$$

$$= 6365 \times 400$$

$$= 2546000 \text{ mm}^2$$

$$V_u > 0,083 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c}$$

$$601969 \text{ N} > 0,083 \cdot 2546000 \cdot 1 \cdot \sqrt{45}$$

$$601969 \text{ N} > 1417564,24 \text{ N}$$

Karena nilai V_u tidak melebihi dari nilai $0,083 A_{cw} \sqrt{f'c}$, rasio tulangan minimum ditentukan sesuai dengan SNI 2847-2013, Pasal 14.3.2. Dimana untuk tulangan ulir lainnya ρ_{min} diambil sebesar 0,0015

V_n Berdasar SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1 kuat geser nominal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'c} + \rho_t f_y)$$

Dimana :

$$\frac{hw}{lw} = \frac{45100}{6365} = 7,08$$

$$= 7,08 > 3$$

$$\begin{aligned}\alpha_c &= 0,25 \text{ untuk } h_w/l_w \leq 1,5 \\ &= 0,17 \text{ untuk } h_w/l_w \geq 2,0 \\ &= \text{variatif, untuk } h_w/l_w \text{ antara } 1,5-2,0\end{aligned}$$

Karena $h_w/l_w \geq$, $\alpha_c = 0,17$

Menurut data *As Built Drawing*, tulangan transversal pada dinding geser terpasang D10-100/200

Rasio tulangan transversal terpasang ialah :

$$\begin{aligned}\rho_t &= \frac{2 \times A_s}{s \times t} \\ &= \frac{2 \times 78,54}{200 \times 400} \\ &= 0,0019 > \rho_{\min} \text{ OK.}\end{aligned}$$

Maka dapat dihitung kuat geser nominal sebagai berikut :

$$\begin{aligned}V_n &= A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \\ &= 2546000 (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{45} + 0,0019 \cdot 400) \\ &= 4838404,83 \text{ N} \\ \phi V_n &= 0,75 \cdot 4838404,83 \\ &= 3628803,62 \text{ N}\end{aligned}$$

$$V_u = 601969 \text{ N} < \phi V_n = 3628803,62 \text{ N}$$

*) Dinding cukup kuat untuk menahan geser.

SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4 membatasi kuat geser nominal maksimum dinding geser sebagai berikut:

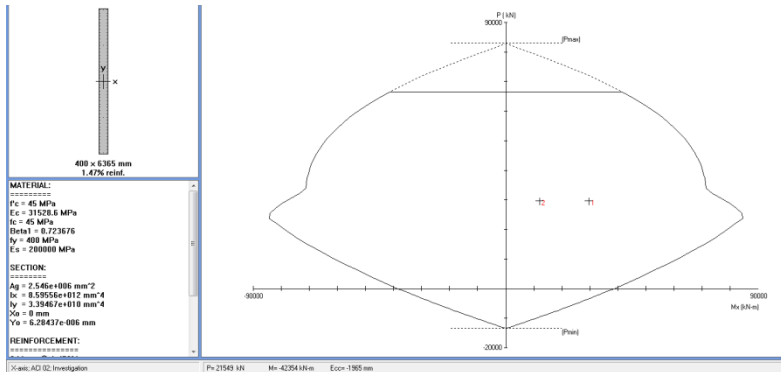
$$\begin{aligned}V_{n-\text{maks}} &= 0,83 \cdot A_{cw} \cdot \sqrt{f'_c} \\ &= 0,83 \cdot 2546000 \sqrt{45} \\ &= 14175642,5 \text{ N N}\end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil dan ditetapkan $\phi V_n = 3628803,62 \text{ N}$.

5.3.3.3 Evaluasi Dinding Geser Terhadap Kombinasi Aksial dan Lentur

Kuat tekan lentur dinding struktural diperoleh dengan membuat diagram interaksi dari dinding tersebut. Dengan bantuan program Pca Col, diagram interaksi dari dinding struktural tersebut dapat dilihat pada gambar xx . Dimana dari

diagram tersebut nampak bahwa kapasitas dinding dalam menahan aksial yang terjadi masih memenuhi.



Gambar 5. 12 Hasil Analisa PCACOL untuk Dinding Geser

5.3.3.4 Pemeriksaan Terhadap Syarat Komponen Batas Khusus (*Special Boundary Element*)

Komponen batas khusus pada dinding geser eksisting terpasang dengan panjang 1580 mm terhadap serat tekan terluar, oleh karena itu, pemeriksaan mengenai syarat komponen batas khusus ini harus dilakukan.

- Berdasarkan pendekatan tegangan

$$A_g = 2546000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= 1/12 \times 400 \times 6365^3 \\ &= 8,6 \times 10^{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= lw/2 \\ &= 6365/2 \\ &= 3182,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, apabila:

$$\frac{Pu}{Ag} + \frac{Mu.y}{Ig} > 0,2 f'c$$

$$\frac{29608200}{2546000} + \frac{11982500.3182,5}{8,6 \times 10^{12}} > 0,2 f'c$$

$$11,62 + 5,28 \times 10^{-3} > 9 \text{ Mpa}$$

$$11,62 \text{ Mpa} > 9 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dibutuhkan komponen batas khusus pada dinding struktural.

- Berdasar pendekatan perpindahan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.6, daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, dimana :

$$c \geq \frac{l_w}{600 \left(\frac{\delta u}{h_w} \right)}$$

Dimana $\frac{\delta u}{h_w}$ tidak boleh diambil kurang dari 0,007.

Nilai δu adalah nilai ΔM pada lantai tertinggi pada masing-masing arah.

Nilai syarat komponen batas :

$$\begin{aligned} \text{Arah } y &= \delta u / h_w \\ &= 253,8 / 45100 \\ &= 0,00686 \end{aligned}$$

$$\delta_u / h_w < 0,007 \rightarrow \text{dipakai } \delta_u / h_w = 0,007$$

$$\begin{aligned} \frac{l_w}{600 \left(\delta_u / h_w \right)} &= \frac{6365}{600.0,007} \\ &= 1515,476 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari hasil analisa PCACol didapatkan hasil dari C adalah 3165 mm, maka

$$c > \frac{l_w}{600(\delta_u/h_w)} \rightarrow \text{persyaratan komponen batas khusus tidak memenuhi}$$

5.3.3.5 Penentuan Panjang Elemen Pembatas Khusus

Dari ketentuan mengenai komponen batas khusus, panel dinding geser yang ditinjau tidak memenuhi persyaratan yang ada. Maka dari itu, perhitungan mengenai *boundary element* Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.6.4, *boundary element* harus dipasang secara horisontal dari sisi serat tekan terluar tidak kurang daripada $(c - 0,1 \ell_w)$ dan $c/2$.

- $(c - 0,1 \ell_w) = 3165 - (0,1 \times 6365)$
 $= 2528,5 \text{ mm}$
- $c/2 = 3165/2$
 $= 1582,5 \text{ mm}$

Panjang *boundary element* harus dipasang minimal sejarak 2528,5 mm dari serat tekan terluar, digunakan jarak *special boundary element* sepanjang 2600 mm.

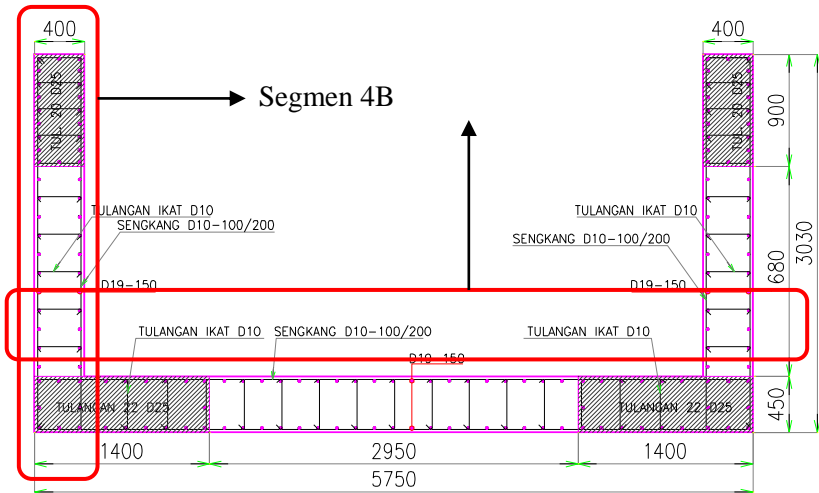
Panjang minimum *Special Boundary Element* yang dibutuhkan \geq Panjang *Special Boundary Element* eksisting, maka persyaratan komponen batas khusus tidak memenuhi.

5.3.4 Analisa Struktur Corewall

Shearwall (dinding geser) dan *Corewall* merupakan elemen penting dalam menahan gaya lateral yang disebabkan oleh angin, gempa, atau beban lateral lainnya. *Corewall* dibentuk dari kombinasi beberapa dinding geser yang terkonfigurasi membentuk sebuah inti dan umumnya ditempatkan pada pusat dari geometri gedung. *Corewall* umumnya digunakan untuk tempat shaft dan instalasi lift untuk mengakomodasi beberapa kebutuhan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa *Corewall*

merupakan kombinasi dari *Shearwall* yang terkonfigurasi dan terletak di pusat geometri gedung.

Pada gedung One East Residences, terdapat 2 jenis *Corewall* yang digunakan untuk tempat lift. Konfigurasi struktur akan ditunjukkan pada gambar dibawah ini



Analisa dilakukan dengan memecah konfigurasi *Corewall* menjadi beberapa segmen dinding geser yang selanjutnya dimodelkan menggunakan program bantu PCACOL sama seperti *Shearwall*.

Data data dinding geser yang menjadi tinjauan adalah sebagai berikut:

Data-data perencanaan:

Panjang : 5750 mm

Lebar : 3030 mm

Tinggi : 3700 mm

Tebal : 400/450 mm

Tebal decking : 40 mm

D. Tulangan : 19/25 mm

Ø. Sengkang : 10 mm

Mutu Tulangan : 400 Mpa

Mutu Sengkang : 400 Mpa

Mutu Beton : 45 Mpa

5.3.4.1 Kontrol Ketebalan Terhadap Gaya Geser

Pada setiap segmen *Corewall* akan dihitung ketebalan terhadap geser yang terjadi. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4, kuat geser nominal tiap dinding individual tidak boleh melebihi:

$$0,83 A_{cw} \sqrt{f'c}$$

Dimana :

A_{cw} : Luas penampang dinding yang ditinjau
: $h \times d$ (menurut SNI 2847:2013 pasal 11.9.4, $d=0,8l_w$)

Pada dinding struktural Segmen 4B, ketebalan terhadap geser:

$$\begin{aligned} V_{u1} &< 0,83 A_{cw} \sqrt{f'c} \\ 482474 \text{ N} &< 0,83 (400.0,8.3030) \sqrt{45} \\ 482474 \text{ N} &< 5398547,86 \text{ N} \end{aligned}$$

Dinding struktural Segmen 4B mampu untuk menahan geser yang terjadi akibat kombinasi gempa.

Selanjutnya, dilakukan kontrol terhadap dinding struktural segmen 4A

$$\begin{aligned} V_{u2} &< 0,83 A_{cw} \sqrt{f'c} \\ 3693185 \text{ N} &< 0,83 (450.0,8.5750) \sqrt{45} \\ 3693185 \text{ N} &< 11525365,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka, ketebalan dinding struktural segmen 4A mampu untuk menahan geser.

5.3.4.2 Kuat Geser Dinding Struktural

Rasio Tulangan Minimum pada setiap dinding geserser diatur sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.1

$$A_{cv} 4A = l_w \times t_w$$

$$= 5750 \times 450$$

$$= 2587500 \text{ mm}^2$$

$$V_u > 0,083 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c}$$

$$3693185 \text{ N} > 0,083 \cdot 2587500 \cdot 1 \cdot \sqrt{45}$$

$$3693185 \text{ N} > 1440670,65 \text{ N}$$

Karena nilai V_u melebihi dari nilai $0,083 A_{cv} \sqrt{f'c}$, rasio tulangan minimum ditentukan sesuai dengan SNI 2847-2013, Pasal 21.9.2.1 Dimana untuk tulangan ulir lainnya ρ_{\min} diambil sebesar 0,0025.

Cek Kebutuhan Lapis Tulangan (SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.2)

$$0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} = 0,17 \cdot 2587500 \cdot 1 \cdot \sqrt{45}$$

$$= 2950771 \text{ N}$$

$$V_u = 3693185 \text{ N} < 2950771 \text{ N}$$

Sesuai dengan persyaratan pada SNI 2847-2013 pasal 21.9.2.2 Tulangan dipasang minimum 2 lapis pada suatu dinding jika V_u melebihi $0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c}$.

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.1 tulangan geser harus disediakan dalam dua arah tegak lurus pada bidang dinding dengan rasio tulangan minimum untuk arah vertikal dan horisontal ialah 0,0025.

- Luas minimal tulangan per m' (A_{sl} dan A_{st})

$$0,0025 A_{cv} = 0,0025 \cdot (450 \times 1000)$$

$$= 1125 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$= 1,125 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Sesuai dengan data A_s *Built Drawing*, digunakan D10-100

$$A_s \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai} = 2 \times A_s$$

$$= 2 \times 78,54$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

- Jarak Tulangan (s)

$$\begin{aligned}
 s_{\text{pakai}} &= \frac{A_{\text{pakai}}}{A_{\text{perlu}}} \\
 &= \frac{157,08 \text{ mm}^2}{1,125 \text{ mm}^2} \\
 &= 139,62 \text{ mm} \\
 s_{\text{pakai}} = 100 &< 150 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})
 \end{aligned}$$

V_n Berdasar SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1 kuat geser nominal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$V_n = A_c v (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$$

Dimana :

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{45500}{5750} = 7,91$$

$$= 7,91 > 3$$

$$\alpha_c = 0,25 \text{ untuk } h_w/l_w \leq 1,5$$

$$= 0,17 \text{ untuk } h_w/l_w \geq 2,0$$

$$= \text{variatif, untuk } h_w/l_w \text{ antara } 1,5-2,0$$

Karena $h_w/l_w \geq 3$, $\alpha_c = 0,17$

Menurut data *As Built Drawing*, tulangan transversal pada dinding geser terpasang D10-100

Rasio tulangan transversal terpasang ialah :

$$\begin{aligned}
 \rho_t &= \frac{2 \times A_s}{s \times t} \\
 &= \frac{2 \times 78,54}{100 \times 450} \\
 &= 0,0035 > \rho_{\min} \text{ OK.}
 \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung kuat geser nominal sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_n &= A_c v (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \\
 &= 2587500 (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{45} + 0,0034 \cdot 400) \\
 &= 6469771 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,75 \cdot 6469771 \text{ N} \\
 &= 4852328,41 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_u = 3693185 \text{ N} < \phi V_n = 4852328,41 \text{ N}$$

Dinding Struktural segmen 4A cukup kuat untuk menahan geser.

SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4 membatasi kuat geser nominal maksimum dinding geser sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{n-\text{maks}} &= 0,83 \cdot A_{cw} \cdot \sqrt{f'c} \\ &= 0,83 \cdot 2587500 \sqrt{45} \\ &= 14406706,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil dan ditetapkan $\phi V_n = 4852328,41 \text{ N}$.

Pada dinding struktural segmen 4B, dihitung kuat geser nominal sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_n &= A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'c} + \rho_t f_y) \\ &= 1212000 (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{45} + 0,0034 \cdot 400) \\ &= 1382159,7 \text{ N} \\ \phi V_n &= 0,75 \cdot 1382159,7 \text{ N} \\ &= 1036619,77 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 482474 \text{ N} < \phi V_n = 1036619,77 \text{ N}$$

Dinding Struktural segmen 4B cukup kuat untuk menahan geser.

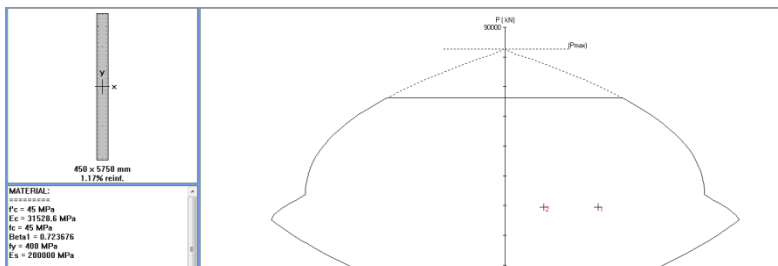
SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4 membatasi kuat geser nominal maksimum dinding geser sebagai berikut:

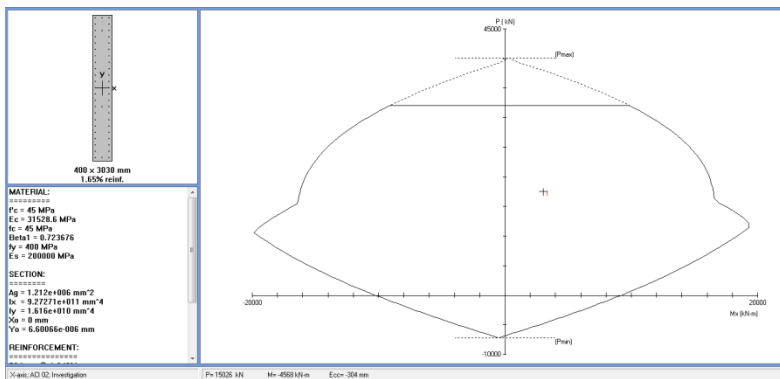
$$\begin{aligned} V_{n-\text{maks}} &= 0,83 \cdot A_{cw} \cdot \sqrt{f'c} \\ &= 0,83 \cdot 1212000 \sqrt{45} \\ &= 6748184,83 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil dan ditetapkan $\phi V_n = 1036619,77 \text{ N}$.

5.3.4.3 Evaluasi Dinding Geser Terhadap Kombinasi Aksial dan Lentur

Kuat tekan lentur dinding struktural diperoleh dengan membuat diagram interaksi dari dinding tersebut. Dengan bantuan program Pca Col, diagram interaksi dari dinding struktural tersebut dapat dilihat pada gambar . Dimana dari diagram tersebut nampak bahwa kapasitas dinding dalam menahan aksial yang terjadi masih memenuhi.





Gambar 5.14 Diagram PCACOL Dinding Struktural 4B

5.3.4.4 Pemeriksaan Terhadap Syarat Komponen Batas Khusus (*Special Boundary Element*)

Komponen batas khusus pada dinding geser eksisting terpasang dengan panjang 1580 mm terhadap serat tekan terluar,

oleh karena itu, pemeriksaan mengenai syarat komponen batas khusus ini harus dilakukan.

Segmen 4A

- Berdasar pendekatan tegangan

$$A_g = 2587500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= 1/12 \times 450 \times 5750^3 \\ &= 7,13 \times 10^{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= lw/2 \\ &= 5750/2 \\ &= 2875 \text{ mm} \end{aligned}$$

Daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, apabila:

$$\frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u \cdot y}{I_g} > 0,2 f'_c$$

$$\frac{29513230}{2587500} + \frac{12306780000 \cdot 2875}{7,13 \times 10^{12}} > 0,2 f'_c$$

$$11,4 + 4,96 > 9 \text{ Mpa}$$

$$16,36 \text{ Mpa} > 9 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dibutuhkan komponen batas khusus pada dinding struktural.

- Berdasar pendekatan perpindahan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.6, daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, dimana :

$$c \geq \frac{lw}{600 \left(\frac{\delta u}{hw} \right)}$$

Dimana $\frac{\delta u}{hw}$ tidak boleh diambil kurang dari 0,007.

Nilai δu adalah nilai ΔM pada lantai tertinggi pada masing-masing arah.

Nilai syarat komponen batas :

$$\begin{aligned}\text{Arah } y &= \delta u / h w \\ &= 253,8 / 45100 \\ &= 0,00557\end{aligned}$$

$$\delta u / h_w < 0,007 \rightarrow \text{dipakai } \delta u / h_w = 0,007$$

$$\begin{aligned}\frac{l_w}{600(\delta u / h_w)} &= \frac{5750}{600 \cdot 0,007} \\ &= 1369,05 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dari hasil analisa PCACol didapatkan hasil dari C adalah 2759 mm, maka

$$c > \frac{l_w}{600(\delta u / h_w)} \rightarrow \begin{array}{l} \text{persyaratan} \\ \text{memenuhi} \end{array} \begin{array}{l} \text{komponen} \\ \text{batas} \end{array} \begin{array}{l} \text{husus} \end{array}$$

Segmen 4B

$$A_g = 1212000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}I_g &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= 1/12 \times 400 \times 3030^3 \\ &= 9,27 \times 10^{11}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}y &= l_w / 2 \\ &= 3030 / 2 \\ &= 1515 \text{ mm}\end{aligned}$$

Daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, apabila:

$$\begin{aligned}\frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u \cdot y}{I_g} &> 0,2 f'_c \\ \frac{17502820}{1212000} + \frac{3046045000 \cdot 1515}{9,27 \times 10^{11}} &> 0,2 f'_c \\ 14,44 + 4,27 &> 9 \text{ Mpa} \\ 18,71 \text{ Mpa} &> 9 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dibutuhkan komponen batas khusus pada dinding struktural.

- Berdasar pendekatan perpindahan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.6, daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, dimana :

$$c \geq \frac{l_w}{600 \left(\frac{\delta u}{h_w} \right)}$$

Dimana $\frac{\delta u}{h_w}$ tidak boleh diambil kurang dari 0,007.

Nilai δu adalah nilai ΔM pada lantai tertinggi pada masing-masing arah.

Nilai syarat komponen batas :

$$\begin{aligned} \text{Arah y} &= \delta u / h_w \\ &= 253,8 / 45100 \\ &= 0,00557 \end{aligned}$$

$$\delta_u / h_w < 0,007 \rightarrow \text{dipakai } \delta_u / h_w = 0,007$$

Dinding Struktural Segmen 4A

$$\begin{aligned} \frac{l_w}{600 \left(\delta_u / h_w \right)} &= \frac{5750}{600 \cdot 0,007} \\ &= 1369,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari hasil analisa PCACol didapatkan hasil dari C adalah 2759 mm, maka

$$c > \frac{l_w}{600 \left(\delta_u / h_w \right)} \rightarrow \begin{array}{l} \text{persyaratan} \\ \text{memenuhi} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{komponen} \\ \text{batas} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{khusus} \end{array}$$

Dinding Struktural Segmen 4B

$$\frac{l_w}{600(\delta_u/h_w)} = \frac{3030}{600.0,007}$$

$$= 721,43 \text{ mm}$$

Dari hasil analisa PCACol didapatkan hasil dari C adalah 1965 mm, maka

$$c > \frac{l_w}{600(\delta_u/h_w)} \rightarrow \text{persyaratan komponen batas khusus}$$

memenuhi

5.3.4.5 Penentuan Panjang Elemen Pembatas Khusus

Dari ketentuan mengenai komponen batas khusus, panel dinding geser yang ditinjau tidak memenuhi persyaratan yang ada. Maka dari itu, perhitungan mengenai *boundary element* Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.6.4, *boundary element* harus dipasang secara horisontal dari sisi serat tekan terluar tidak kurang daripada $(c - 0,1 \ell_w)$ dan $c/2$.

- Dinding Struktural Segmen 4A
 - $(c - 0,1 \ell_w) = 2759 - (0,1 \times 5750)$
 $= 2184 \text{ mm}$
 - $c/2 = 2184/2$
 $= 1092 \text{ mm}$
- Dinding Struktural Segmen 4B
 - $(c - 0,1 \ell_w) = 1965 - (0,1 \times 3030)$
 $= 1662 \text{ mm}$
 - $c/2 = 1662/2$
 $= 831 \text{ mm}$

Panjang *boundary element* harus dipasang minimal sejarak 2184 mm dari serat tekan terluar, digunakan jarak *special boundary element* sepanjang 2200 mm pada dinding struktural segmen 4A. Panjang minimum *Special Boundary Element* yang

dibutuhkan \geq Panjang *Special Boundary Element* eksisting, maka persyaratan komponen batas khusus tidak memenuhi.

Pada dinding struktural segmen 4B, panjang boundary element harus dipasang minimal sejarak 1662 mm dari serat tekan terluar, digunakan jarak *special boundary element* sepanjang 1700 mm. Panjang minimum *Special Boundary Element* yang dibutuhkan \geq Panjang *Special Boundary Element* eksisting, maka persyaratan komponen batas khusus tidak memenuhi.

5.3.5 Rekapitulasi Evaluasi Struktur Dinding Geser

Lantai	Type SW	D. Lentur	Pu	Pn	MuX	MnX	SF	N.A Depth	Keterangan
		mm	KN	KN	KNm	KNm		mm	OK/NOT OK
15th - 24 th	SW 1	13/22	7814.64	24769.4	851.7	12101.7	14.20888	824	OK
	SW 2	13/22	15680.1	64874.9	10196.31	65651.8	6.43878	1691	OK
	SW 3A	13/22	9696.4	41485.5	2903.035	27490.4	9.469538	1087	OK
	SW 3B	13/22	6529.9	27365.5	950.2	13599.6	14.31236	777	OK
	SW 3C	13/22	7740.9	36715.9	2736.13	24137	8.821584	1080	OK
	SW 3D	13/22	4264.97	34140	1338.4	14880	11.11775	630	OK
	SW 3E	13/22	7019	30156	783.63	15068.5	19.2291	830	OK
	SW 4A	13/22	16051.3	53891.3	6442.3	53348.7	8.281002	1691	OK
	SW 4B	13/22	9384.4	30864.7	1993.6	17228.6	8.641954	971	OK

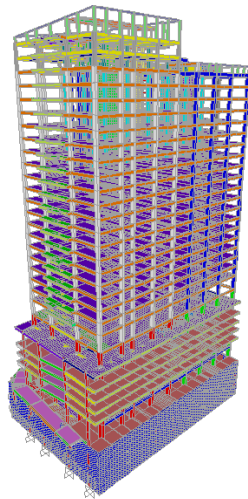
BAB VI

MODIFIKASI STRUKTUR

6.1 Usulan Modifikasi Struktur

Sesuai dengan metodologi pekerjaan tugas akhir, metode dalam penentuan modifikasi struktur gedung adalah berupa modifikasi jumlah lantai yang bertujuan untuk mengurangi beban gravitasi sehingga kapasitas struktur mampu menahan gaya yang diakibatkan adanya beban gempa. Pada beberapa tipe elemen kolom, aksial yang terjadi akibat gempa melebihi kapasitas nominalnya. Sehingga untuk modifikasi struktur berupa pemotongan dilakukan *trial and error* pada segi kapasitas dan stabilitas.

Dari segi stabilitas, *trial and error* ditinjau hanya dari segi waktu getar periode fundamental gedung sesuai dengan hasil analisa kontrol dinamis pada bab sebelumnya yang menyatakan bahwa waktu getar periode fundamental gedung melebihi batas atas apa yang telah diisyaratkan oleh SNI 1726-2012.



Gambar 6.1 Permodelan Struktur Modifikasi awal

Oleh karena itu, selanjutnya akan dilakukan analisa periode fundamental terhadap hasil *trial and error* sehingga didapat hasil yang sesuai dengan persyaratan SNI 1726-2012. Percobaan pertama yang dilakukan adalah dengan memotong gedung yang awalnya terdiri dari 33 lantai menjadi 28 lantai, untuk mengetahui besarnya periode yang dihasilkan melalui proses analisa menggunakan program bantu.

Kontrol Periode Fundamental

Selanjutnya dalam menganalisa perilaku struktur, dilakukan pembatasan terhadap nilai periode dengan menghitung batas atas periode struktur dengan mengalikan periode fundamental pendekatan dengan koefisien C_u . Koefisien nilai C_u dapat diperoleh dari tabel 14

$$C_u = 1,4.$$

$$C_u \times T_a = 1,4 \times 1,21 = 1,69 \text{ detik}$$

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1, periode fundamental struktur (T) yang digunakan:

Jika $T_c > C_u \times T_a$, maka digunakan $T = C_u \times T_a$

Jika $T_a < T_c < C_u \times T_a$ maka digunakan $T = T_c$

Jika $T_c < T_a$ maka digunakan $T = T_a$

Dimana;

T_c = Periode fundamental struktur yang diperoleh dari analisa struktur.

Dari hasil percobaan pertama menggunakan analisa program bantu analisa struktur, didapat $T_c = 3,51$ detik, $T_a = 1,78$ dan $C_u \times T_a = 2,49$ detik.

Dari segi stabilitas dinamis gedung, Periode yang dihasilkan masih belum memenuhi persyaratan sesuai SNI 1726-2012. Sedangkan dari segi kapasitas, pada jumlah lantai 28, dilakukan analisa terhadap aksial kolom dan diperoleh hasil seluruh kapasitas aksial kolom telah memenuhi aksial yang terjadi. Oleh karena stabilitas gedung masih belum memenuhi

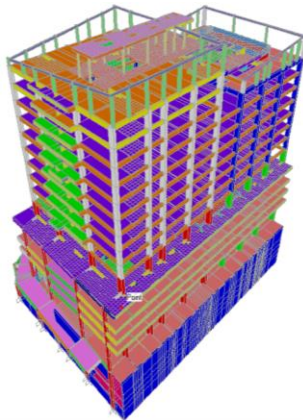
persyaratan SNI 1726-2012. Sehingga percobaan masih terus dilakukan hingga tercapai stabilitas yang sesuai.

Selanjutnya, hasil analisa waktu getar tiap percobaan akan disajikan dalam bentuk tabel;

Tabel 6. 1 Tabel Rekapitulasi Percobaan Pemotongan Lantai

Jumlah Lantai	Ta (Detik)	Cu x Ta (Detik)	Tc (Detik)	Keterangan
33	1,96	2,75	4,2	Not OK
28	1,78	2,49	3,51	Not OK
23	1,59	2,23	2,81	Not OK
21	1,47	2,06	2,4	Not OK
19	1,37	1,92	2,07	Not OK
16	1,21	1,695	1,69	OK

Sesuai dengan tabel diatas, diperoleh hasil pada saat jumlah lantai hanya 16, stabilitas gedung telah memenuhi dari segi periode fundamental gedung. selanjutnya, dari hasil pemotongan lantai tersebut dilakukan kontrol dinamis menyeluruh.



Gambar 6. 2 Permodelan Struktur Modifikasi Akhir

Setelah dilakukan *Trial and Error* terhadap modifikasi struktur, data modifikasi struktur gedung akan diuraikan sebagai berikut:

Data Gedung

H = 58,9 m (dari elevasi 0)

H. Basement = 13,5 m

Lebar = 49,45 m ; Panjang = 65,55 m

Fc = 35/40/45 Mpa ; $f_y = 400/500$ Mpa

Tinggi antar lantai,

GR – P1 = 4,5 m

P1 – P2 Mezz = 3.2 m

Lantai 3 – 4 = 4 m

Lantai 5 – Roof = 3,4 m

Selanjutnya akan dilakukan kontrol dinamis gedung dan analisa struktur yang telah di modifikasi seperti pada bab sebelumnya.

6.2 Kontrol Respon Dinamis Gedung

6.2.1 Kontrol Periode Fundamental

Pada bab sebelumnya, setelah dilakukan analisa mengenai Periode fundamental pendekatan yang dihitung berdasarkan nilai C_t dan x yang terdapat pada tabel 15, SNI 1726:2012. Didapat nilai periode gedung yang melebihi batas atas yang diisyaratkan oleh SNI 1726-2012, hasil dari SAP 2000 yaitu 4,2 detik dengan batas atas hanya berkisar 2,75 detik. Nilai periode fundamental gedung selanjutnya akan dihitung ulang sesuai hasil dari modifikasi struktur yang dilakukan.

$$T_a = C_t x h_n^x$$

Dimana;

T_a : Periode pendekatan fundamental pendekatan

h_n : tinggi struktur gedung dalam meter

untuk sistem struktur lainnya, diperoleh parameter nilai $C_t = 0,0488$ dan $x = 0,75$

maka perhitungan periode fundamental pendekatan,

$$T_a = C_t \times h_n^x = 0,0488 \times 72,4^{(0,75)}$$

$$T_a = 1,21 \text{ detik}$$

Selanjutnya dalam menganalisa perilaku struktur, dilakukan pembatasan terhadap nilai periode dengan menghitung batas atas periode struktur dengan mengalikan periode fundamental pendekatan dengan koefisien C_u . Koefisien nilai C_u dapai diperoleh dari tabel 14

$$C_u = 1,4.$$

$$C_u \times T_a = 1,4 \times 1,21 = 1,69 \text{ detik}$$

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1, periode fundamental struktur (T) yang digunakan:

- Jika $T_c > C_u \times T_a$, maka digunakan $T = C_u \times T_a$
- Jika $T_a < T_c < C_u \times T_a$ maka digunakan $T = T_c$
- Jika $T_c < T_a$ maka digunakan $T = T_a$

Dimana;

T_c = Periode fundamental struktur yang diperoleh dari analisa struktur.

Dari hasil analisa program bantu analisa struktur, didapat $T_c = 1,69$ detik, $T_a = 1,21$ dan $C_u \times T_a = 1,69$ detik.

Tabel 6. 2 Nilai Periode Fundamental Gedung Modifikasi

TABLE: Modal Participating Mass Ratios			
OutputCase	StepType	StepNum	Period
Text	Text	Unitless	Sec
MODAL	Mode	1	1.69562
MODAL	Mode	2	1.555058
MODAL	Mode	3	1.338165
MODAL	Mode	4	0.930891
MODAL	Mode	5	0.870966
MODAL	Mode	6	0.838656
MODAL	Mode	7	0.74344
MODAL	Mode	8	0.729302
MODAL	Mode	9	0.611706
MODAL	Mode	10	0.593443

6.2.2 Kontrol Gaya Geser Dasar

Kontrol gaya geser dinamis berguna untuk mengetahui apakah gaya gempa yang telah diinput melalui respon spectrum sudah sesuai dengan persyaratan 1726-2012. Dari analisa periode fundamental sebelumnya, T yang didapat adalah 1,65 detik. Berdasarkan SNI 1726:2012, pasal 7.8.1.1, koefisien seismik, C_s , dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$C_{sperlu} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{1}{\frac{7}{1}} = 0,1429$$

$$C_{s1} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,6}{1,65\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,052$$

$$C_{s2} = 0,044 S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$$

$$C_{s2} = 0,044 \times 1 \times 1 = 0,044 \geq 0,01 \text{ (Memenuhi)}$$

Maka digunakan $C_s = 0,044$

Karena struktur yang berlokasi didaerah dimana S_1 sama dengan atau lebih dari 0,6g, maka C_s tidak kurang dari

$$C_{s3} = \frac{0,5 \times S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,5 \times 0,6}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,0428$$

$$C_{sperlu} \geq C_{s3} = 0,044 \geq 0,0428, \text{ maka digunakan } C_s = 0,044$$

Perhitungan gaya geser dasar

Sesuai dengan SNI 1726-2012, gaya geser yang dianalisa diatas selanjutnya gaya vertikal akan didistribusikan ke masing masing lantai, berdasarkan persamaan berikut ini;

$$V = C_s \cdot W_t$$

Dimana;

V : V Statik

C_s : Koefisien respon seismik Serui

W_t : Berat total gedung dari hasil analisa struktur

Tabel 6. 3 Hasil Output Base Reactions SAP

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN
RSX	LinRespSpec	Max	20007.347	6402.032	918.259
RSY	LinRespSpec	Max	6822.653	18410.408	816.537
D+L	Combination		4.945E-08	-1.823E-07	535326.583

W_t didapat dari hasil analisa struktur menggunakan program bantu diperoleh 535326,58 KN

$$V = 0,044 \times 535326,58 \text{ KN}$$

$$V = 23554,37 \text{ KN}$$

Jika kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0,85V/V_t$ sesuai SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4.1.

Tabel 6. 4 Besar V dinamis akibat Gempa

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN
RSX	LinRespSpec	Max	20007.347	6402.032	918.259
RSY	LinRespSpec	Max	6822.653	18410.408	816.537
D+L	Combination		4.945E-08	-1.823E-07	535326.583

Dari analisa struktur didapat V dinamis untuk arah X = **20007,35 KN** ; untuk arah Y = **18410,41 KN**

Diisyaratkan untuk,

$$V_{\text{baseshear}} \geq 0,85 V_{\text{static}}$$

Maka,

Untuk arah X

$$V_x \geq 0,85 V_{\text{static}}$$

$$20007,35 \text{ KN} \geq 0,85 \times 23554,37$$

$$20007,35 \geq 20021 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Untuk arah Y,

$$V_y \geq 0,85 V_{\text{static}}$$

$$18410,41 \text{ KN} \geq 0,85 \times 23554,37$$

$$28277,78 \geq 20021 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Oleh karena hasil dari $V_{\text{baseshear}}$ tidak mencukupi sesuai dengan persyaratan pada SNI 1726-2012, maka gaya geser harus diperbesar dengan faktor skala yang diatur pada SNI 1726-2012 Pasal 7.9.4.1, dimana dalam penentuan faktor skala gempa harus sesuai dengan $0,85V/V_{\text{baseshear}}$

Skala faktor untuk arah X

$$\frac{0,85 \times 23554,37}{20007,35} = 1,0007$$

Skala faktor untuk arah Y

$$\frac{0,85 \times 23554,37}{18410,41} = 1,0847$$

Selanjutnya dilakukan analisa ulang menggunakan program bantu dan diperoleh nilai berikut ini:

Tabel 6. 5 V dinamis setelah Modifikasi

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN
RSX	LinRespSpec	Max	22427.577	7486.871	449.398
RSY	LinRespSpec	Max	8722.224	22871.943	962.146
D+L	Combination		4.946E-08	-1.822E-07	535326.583

$$V_{\text{baseshear}} \geq 0,85 V_{\text{static}}$$

Maka,

Untuk arah X

$$V_x \geq 0,85 V_{\text{static}}$$

$$22427,57 \text{ KN} \geq 0,85 \times 23554,37$$

$$22427,57 \geq 20021 \quad (\text{Memenuhi})$$

Untuk arah Y,

$$V_y \geq 0,85 V_{\text{static}}$$

$$22871,94 \text{ KN} \geq 0,85 \times 23554,37$$

$$22871,94 \geq 20021 \quad (\text{Memenuhi})$$

Dari hasil modifikasi struktur, didapat hasil sudah memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4.1. Selanjutnya geser dasar ragam tersebut akan digunakan sebagai beban gempa dalam perhitungan selanjutnya.

6.2.3 Kontrol Dual System

Kontrol dual system akan dilakukan untuk mengetahui besarnya perbandingan distribusi gaya yang diterima antara dinding geser. Kontrol dual system juga akan dilakukan pada hasil modifikasi struktur gedung, analisa dari modifikasi ini dilakukan untuk mengetahui apakah komposisi struktur dalam menerima beban masih tetap optimal sesuai dengan persyaratan yang ada

Tabel 6. 6 Besar Gaya Pada SRPM dan Dinding Geser

Kombinasi	SRPM		SW	
	F1	F2	F1	F2
0.7D + 1.3 EX	31421.109	13973.922	9235.189	4000.583
0.7D + 1.3 EX	-31331.772	-17144.073	-9625.009	-2300.529
0.7D + 1.3 EY	18550.938	26631.283	7335.995	7486.462
0.7D + 1.3 EY	-18430.983	-29801.435	-7725.809	-5628.125
0.9D + IRSX	24219.853	9930.508	7003.323	3465.18
0.9D + IRSX	-24060.645	-14006.417	-7504.515	-1369.977
0.9D + IRSY	14319.728	19666.936	5542.403	6146.626
0.9D + IRSY	-14151.406	-23742.846	-6043.596	-3929.669
1.2D + IRSX + L	24310.436	9164.69	6890.713	3811.034
1.2D + IRSX + L	-23976.758	-14772.229	-7617.13	-1001.095
1.2D + IRSY + L	14410.305	18901.119	5429.791	6492.476
1.2D + IRSY + L	-14080.899	-24508.669	-6156.207	-3560.783
1.4D + 1.3EX + 1L	31566.756	12302.347	9011.203	4775.502
1.4D + 1.3EX + 1L	-31202.841	-18815.642	-9848.998	-1489.474
1.4D + 1.3EY + 1L	18696.588	24959.712	7112.001	8261.376
1.4D + 1.3EY + 1L	-18212.555	-31473.011	-7949.801	-4817.063

Tabel 6. 7 Perbandingan Gaya pada SRPM dan Dinding Geser dalam Persen

SRPM %		SW %	
F1	F2	F1	F2
77.28%	77.74%	22.72%	22.26%
76.50%	88.17%	23.50%	11.83%
71.66%	78.06%	28.34%	21.94%
70.46%	84.11%	29.54%	15.89%
77.57%	74.13%	22.43%	25.87%
76.23%	91.09%	23.77%	8.91%
72.10%	76.19%	27.90%	23.81%
70.07%	85.80%	29.93%	14.20%
77.92%	70.63%	22.08%	29.37%
75.89%	93.65%	24.11%	6.35%
72.63%	74.43%	27.37%	25.57%
69.58%	87.31%	30.42%	12.69%
77.79%	72.04%	22.21%	27.96%
76.01%	92.66%	23.99%	7.34%
72.44%	75.13%	27.56%	24.87%
69.61%	86.73%	30.39%	13.27%

Dari hasil diatas, dapat dilihat bahwa persentase di SRPM hampir semua kombinasi pembebanan gempa lebih besar dari 25%, sehingga konfigurasi struktur gedung telah memenuhi syarat sebagai struktur dual system menurut SNI 03-1726-2012.

6.2.4 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Pada Bab Sebelumnya, didapat hasil simpangan yang masih dalam kategori aman. Pada modifikasi gedung, nilai simpangan akan di cek hanya untuk mengetahui seberapa besar simpangan yang terjadi jika gedung di modifikasi.

Nilai dari simpangan antar lantai ini dihitung dengan aplikasi program bantu struktur yang selanjutnya batasan simpangan dinyatakan dengan perumusan yang telah diatur pada SNI 1726-2012, Pasal 7.8.6:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Dimana;

δ_x = Defleksi Pusat Massa di tingkat X

δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang diisyaratkan, ditentukan dengan analisis elastik

C_d = Faktor amplifikasi defleksi

I_e = Faktor keutamaan gempa

Tabel 6. 8 batas ijin simpangan antar lantai

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025 h_{sx}$ ^e	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^a	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

Karena gedung One East Residences merupakan gedung dengan sistem ganda, maka penentuan batas simpangan mengikuti batas dari semua struktur lainnya.

Tabel 6. 9 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Arah X

Lantai	Elevasi	Tinggi antar tingkat	δe	δx_e	δx	δa	Ket
	(m)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap	58.9	4.9	50.5	4.1	22.55	98	OK
13	54	3.4	46.4	2.1	11.55	68	OK
12	50.6	3.4	44.3	1.4	7.7	68	OK
11	47.2	3.4	42.9	1.9	10.45	68	OK
10	43.8	3.4	41	2.3	12.65	68	OK
9	40.4	3.4	38.7	2.5	13.75	68	OK
8	37	3.4	36.2	2.7	14.85	68	OK
7	33.6	3.4	33.5	2.8	15.4	68	OK
6	30.2	3.4	30.7	3	16.5	68	OK
5	26.8	3.4	27.7	3.1	17.05	68	OK
4	23.4	4	24.6	3.6	19.8	80	OK
3	19.4	4	21	3.3	18.15	80	OK
p2 mezz	15.4	1.6	17.7	0.9	4.95	32	OK
p2	13.8	1.6	16.8	1.7	9.35	32	OK
p2a	12.2	1.6	15.1	0.8	4.4	32	OK
p1	10.6	1.6	14.3	2.1	11.55	32	OK
p1a	9	4.5	12.2	4.6	25.3	90	OK
2	4.5	4.5	7.6	4	22	90	OK
GF	0.00	4	3.6	3.6	19.8	80	OK

Tabel 6. 10 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Arah Y

Lantai	Elevasi	Tinggi antar tingkat	δe	δx_e	δx	δa	Ket
	(m)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap	58.9	4.9	58.5	3.6	19.8	98	OK
13	54	3.4	54.9	1.3	7.15	68	OK
12	50.6	3.4	53.6	1.8	9.9	68	OK

11	47.2	3.4	51.8	2.3	12.65	68	OK
10	43.8	3.4	49.5	2.8	15.4	68	OK
9	40.4	3.4	46.7	3.2	17.6	68	OK
8	37	3.4	43.5	3.6	19.8	68	OK
7	33.6	3.4	39.9	3.9	21.45	68	OK
6	30.2	3.4	36	4.3	23.65	68	OK
5	26.8	3.4	31.7	4.5	24.75	68	OK
4	23.4	4	27.2	5.1	28.05	80	OK
3	19.4	4	22.1	4.6	25.3	80	OK
p2 mezz	15.4	1.6	17.5	1.4	7.7	32	OK
p2	13.8	1.6	16.1	1.3	7.15	32	OK
p2a	12.2	1.6	14.8	1.5	8.25	32	OK
p1	10.6	1.6	13.3	1.3	7.15	32	OK
p1a	9	4.5	12	4.7	25.85	90	OK
2	4.5	4.5	7.3	3.7	20.35	90	OK
GF	0.00	4	3.6	3.6	19.8	80	OK

Dari hasil output *software* SAP 2000 v14.2.2, diperoleh hasil simpangan per lantai, dan dengan perumusan kontrol di atas maka besar/nilai simpangan antar lantai yang terjadi baik dari arah x maupun arah y belum semua memenuhi syarat, sehingga respon dinamis terhadap simpangan antar lantai struktur gedung One East Residences tersebut belum memenuhi kinerja batas layan struktur terutama jika struktur dibangun di daerah gempa tinggi.

6.2.5 Kontrol Rasio Partisipasi Massa

Untuk mendapatkan hasil analisis struktur yang baik, analisa yang dilakukan harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi minimal 90% dari massa actual dari masing masing arah horizontal, orthogonal dari respon yang ditinjau.

Tabel 6. 11 Rasio Partisipasi Massa

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1.69562	0.00695	0.53025
MODAL	Mode	2	1.555058	0.5815	0.54139
MODAL	Mode	3	1.338165	0.59396	0.59212
MODAL	Mode	4	0.930891	0.59399	0.60206
MODAL	Mode	5	0.870966	0.59399	0.60992
MODAL	Mode	6	0.838656	0.59415	0.60992
MODAL	Mode	7	0.74344	0.60799	0.60998
MODAL	Mode	8	0.729302	0.60817	0.61006
MODAL	Mode	9	0.611706	0.60817	0.61027
MODAL	Mode	10	0.593443	0.6095	0.61032
MODAL	Mode	11	0.577302	0.61242	0.63415
MODAL	Mode	12	0.576196	0.61399	0.69242
MODAL	Mode	13	0.505514	0.71123	0.69859
MODAL	Mode	14	0.501146	0.72565	0.70078
MODAL	Mode	15	0.41604	0.72959	0.75467
MODAL	Mode	16	0.382346	0.73026	0.75687
MODAL	Mode	17	0.342451	0.73095	0.77456
MODAL	Mode	18	0.313493	0.7591	0.77458
MODAL	Mode	19	0.264368	0.81616	0.7756
MODAL	Mode	20	0.24388	0.81871	0.82283
MODAL	Mode	21	0.178592	0.83349	0.84652
MODAL	Mode	22	0.178342	0.85902	0.85903
MODAL	Mode	23	0.077966	0.86329	0.91238
MODAL	Mode	24	0.07153	0.9157	0.91753

Dari hasil analisis struktur, diperoleh partisipasi massa telah mencapai 90 % untuk arah X maupun Y pada mode 24.

6.3 Analisa Usulan Modifikasi

6.3.1 Analisa Kapasitas Torsi Balok

Dimensi penampang untuk menahan torsi terfaktor T_u diatur sesuai dengan SNI 2847-2013, pasal 11.5.1 (a) dan 11.5.3.1 (a), sebagai berikut:

- a) Untuk komponen struktur non-prategang, besarnya torsi terfaktor T_u harus kurang dari persamaan

$$\phi 0,083 \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) = 0,75 \cdot 0,083 \cdot 1 \sqrt{35} \left(\frac{(400 \times 800)^2}{2(400+800)} \right) \\ = 15,7 \text{ kNm}$$

Besarnya torsi terfaktor yang diperoleh dari hasil analisa struktur adalah 73,74 kNm

$$15,7 \text{ kNm} \leq 73,74 \text{ kNm} \quad (\text{Tidak Memenuhi Syarat})$$

Penampang balok yang ditinjau tidak memenuhi persyaratan penampang, selanjutnya cek persyaratan kedua untuk menentukan kekuatan kapasitas penampang dalam menerima torsi.

- b) Untuk komponen non-prategang dengan penampang solid, kekuatan momen torsi pada penampang harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{427,89 \cdot 10^3}{400 \cdot 692} \right)^2 + \left(\frac{73,74 \cdot 10^6 (2 (720+320))}{1,7 (720 \cdot 420)^2} \right)^2} = 2,29 \text{ Mpa}$$

$$0,75 \left(\frac{0,017 \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 692}{400 \cdot 692} + 0,66 \sqrt{35} \right) = 3,00 \text{ Mpa}$$

$$2,29 \leq 3,00 \quad (\text{Memenuhi Syarat})$$

Karena penampang masih memenuhi persyaratan kedua untuk torsi, maka selanjutnya dilakukan perhitungan mengenai kebutuhan tulangan torsi, sehingga perbesaran penampang untuk mengatasi besarnya torsi tidak dilakukan.

Analisa Tulangan Torsi

Dalam menghitung tulangan transversal penahan torsi, SNI 2847-2013, Pasal 11.5.3.6 menyatakan bahwa nilai A_o dapat diambil sama dengan $0,85A_{oh}$, dan nilai θ tidak boleh diambil lebih kecil dari 30° ataupun lebih besar dari 60° . θ boleh diambil sebesar 45° untuk komponen struktur non-prategang.

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 (720 \times 420) \\ &= 257040 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai T_n harus dihitung sesuai dengan persamaan berikut, sesuai dengan SNI 2847-2013, Pasal 11.5.3.6.

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{2A_{oh}A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \\ \frac{T_u}{\phi} &= \frac{2A_{oh}A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \\ \frac{A_t}{s} &= \frac{T_u}{\phi 2A_{oh} f_{yt} \cot \theta} \\ \frac{A_t}{s} &= \frac{73,74 \cdot 10^6}{0,75 \times 2 \times 257040 \times 400 \times \cot 45^\circ} = 0,478 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan torsi akibat geser :

$$\begin{aligned} V_c &= \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) bwd = \left(\frac{\sqrt{35}}{6} \right) 400 \times 692 = 272 \text{ kN} \\ V_s &= V_n - V_c = \frac{427,16}{0,75} - 272 = 297,55 \text{ kN} \\ \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yv} x d} = \frac{297,55 \times 10^3}{400 \times 692} = 1,075 \text{ mm}^2/\text{mm}/\text{dua kaki} \\ \frac{A_v}{s} &= 2 \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 2 \times 0,478 + 1,075 = 2,03 \text{ mm}^2/\text{mm}/\text{dua kaki} \\ \text{Coba sengkang tertutup D16, } A_s &= 402,12 \text{ mm}^2 \\ S &= \frac{\text{luas penampang}}{A_v / s_{perlu}} = \frac{402,12}{2,03} = 198,086 \text{ mm} \end{aligned}$$

Spasi tulangan torsi transversal maksimum adalah $ph/8$ atau 300 mm sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.6.1

$S_{max} = 2080/8 = 260 \text{ mm}$ atau $300\text{mm} < 198,08 \text{ mm}$ (*Tidak Memenuhi*),
maka dipakai tulangan sengkang D16-150 mm

Perhitungan tulangan longitudinal penahan torsi sesuai SNI2847:2013 pasal 11.5.3.7

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \cot \theta$$

$$= 0,478 \times 2080 \times 1 \times 1 = 994,24 \text{ mm}^2$$

Cek luas minimum berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 11.5.5.3

$$A_{lmin} = \frac{0,42 \sqrt{f'_c} A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$A_{lmin} = \frac{0,42 \sqrt{35} 320000}{400} - 0,478 \times 2080 \times 1 = 993,56 \text{ mm}^2$$

Karena A_l hasil analisis \geq dari hasil perhitungan A_{lmin} , maka digunakan A_l hasil analisis untuk mendistribusikan A_l secara rata di semua 4 muka balok tersebut, gunakan $0,25A_l$ di dua sudut teratas dan bawah, sehingga diperoleh

$$A_l = \frac{A_l}{4} = \frac{994,24}{4} = 248,56 \text{ mm}^2$$

Gunakan batang 2D13 mm = $265,5 \text{ mm}^2$ di setiap sisi samping kiri kanan balok baik di sepanjang tumpuan maupun lapangan bentang.

6.3.2 Kontrol Retak Balok

Nilai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar. Selain itu spasi tulangan yang berada paling dekat dengan permukaan tarik tidak boleh lebih.

$$S = 380 \left(\frac{280}{f_y} \right) - 2,5 C_c \quad \text{pasal 10.6(4)(10-4)}$$

$$S = 380 \left(\frac{280}{266,6} \right) - 2,5 \times 40 = 299,1 \text{ mm}$$

Dan tidak boleh lebih dari

$$S = 380 \left(\frac{252}{266,6} \right) = 359,2 \text{ mm}$$

6.3.3 Analisa Struktur Kolom

Terdapat beberapa jenis struktur kolom pada gedung One East Residences ini, namun yang akan ditinjau sebagai contoh perhitungan adalah kolom pada lantai GF pada As 2-F, dengan data-data sebagai berikut:

Tinggi kolom	: 4,5 m
Dimensi Kolom	: 800 x 1200 mm
Mutu beton f_c'	: 40 Mpa
Mutu baja f_y	: 400 Mpa
Ø tul. memanjang	: D25 mm (ulir)
Ø tul. sengkang	: D13 mm (ulir)

Dari hasil analisa struktur yang telah di modifikasi menggunakan SAP2000, didapatkan hasil sebagai berikut:

P_u	= -11891 KN
V_u	= -121,41 KN
M_u	= -896,5 KNm

6.3.3.1 Analisa Konfigurasi Penulangan

Pada komponen kolom yang ditinjau, menurut data As *Built* Drawing, konfigurasi tulangan longitudinal terpasang adalah 34 D25. Luas tulangan longitudinal penahan lentur tidak boleh kurang dari $0,01 A_g$ atau lebih dari $0,06 A_g$ (SNI32847:2013 pasal 21.6.3.1).

$$\rho_g = \frac{15707,96 \text{ mm}^2}{(800 \times 1400)} = 0,014$$

Persyaratan *Strong Column Weak Beam* arah X

Kekuatan kolom ϕM_n harus memenuhi

$$\sum M_c \geq 1,2 \sum M_g$$

(SNI 2847:2013 pasal 21.6.2.2).

Dimana;

$\sum M_c$ = Jumlah M_n dua kolom yang bertemu di join

$\sum M_g$ = Jumlah M_n dari 2 balok yang bertemu di join (termasuk dari sumbangan tulangan pelat di sekebar efektif pelat lantai)

a) Menentukan nilai $\sum M_g$

- Menentukan lebar efektif balok

$$b_e = b_w + 2 h_w = 400 + 2 (800-180) = 1640 \text{ mm (Menentukan)}$$

$$b_e = b_w + 2 h_f = 400 + 8 (180) = 1840 \text{ mm}$$

$$\text{As tul atas balok} = 8 \text{ D22 } (3041,06 \text{ mm}^2)$$

$$\text{As tul bawah balok} = 4 \text{ D22 } (1520,53 \text{ mm}^2)$$

$$\text{As tul pelat} = \text{D8-150 } (351,86 \text{ mm}^2)$$

Luas tul. atas ($A_{s\text{tarik}}$)

$$= A_{s \text{ balok}} + A_{s \text{ pelat}}$$

$$= 3041,06 + 703,72 = 3744,78 \text{ mm}^2$$

$$y = \frac{3744,78 \times \left(40 + 10 + 22 + \frac{22}{2}\right) + \left(7 \times \frac{\pi}{4} \times 8^2\right) \left(22 + \frac{8}{2}\right) + \left(4 \times \frac{\pi}{4} \times 8^2\right) \left(180 - 22 - \frac{8}{2}\right)}{3744,78}$$

$$y = 93,7 \text{ mm}$$

$$d_{\text{atas}} = 800 - y = 800 - 93,7 = 706,3 \text{ mm}$$

$$d_{\text{bawah}} = (800 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \times 22)) = 739 \text{ mm}$$

- Menentukan nilai M_{nb}^+ dan M_{nb}^-

$$a = \frac{A_s f_y}{\beta \cdot f'_c \cdot b} = \frac{1520,53 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} = 51,1 \text{ mm}$$

$$M_{nb}^+ = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 0,9 \times 1520,53 \times 400 (739-51,1/2) \\ = 390,54 \text{ KNm}$$

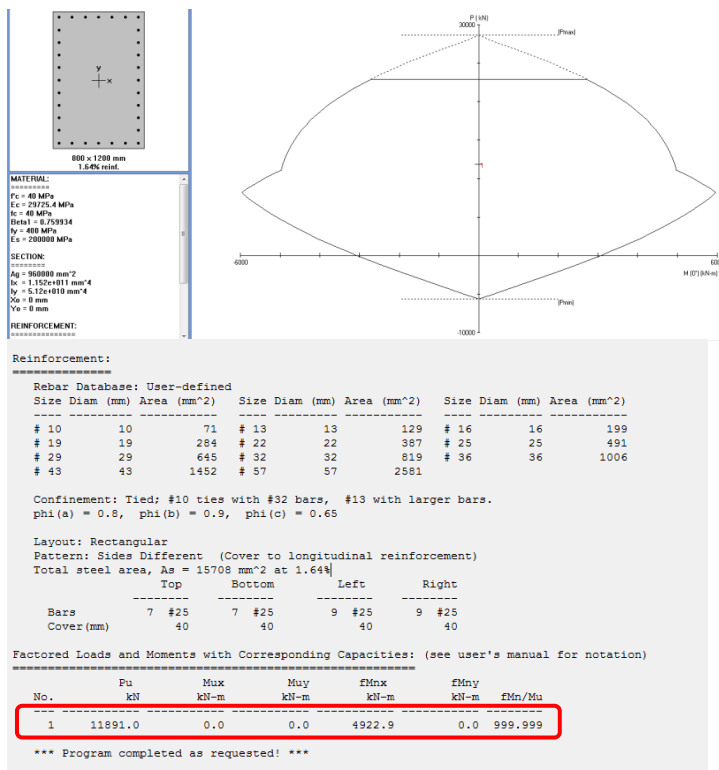
$$a = \frac{A_s f_y}{\beta \cdot f'_c \cdot b} = \frac{3744,78 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} = 125,87 \text{ mm}$$

$$M_{nb}^- = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 0,9 \times 3744,78 \times 400 (706,3-125,87/2) \\ = 867,34 \text{ KNm}$$

$$\sum M_g = M_{nb}^+ + M_{nb}^- = 390,54 + 867,34 = 1257,88 \text{ KNm}$$

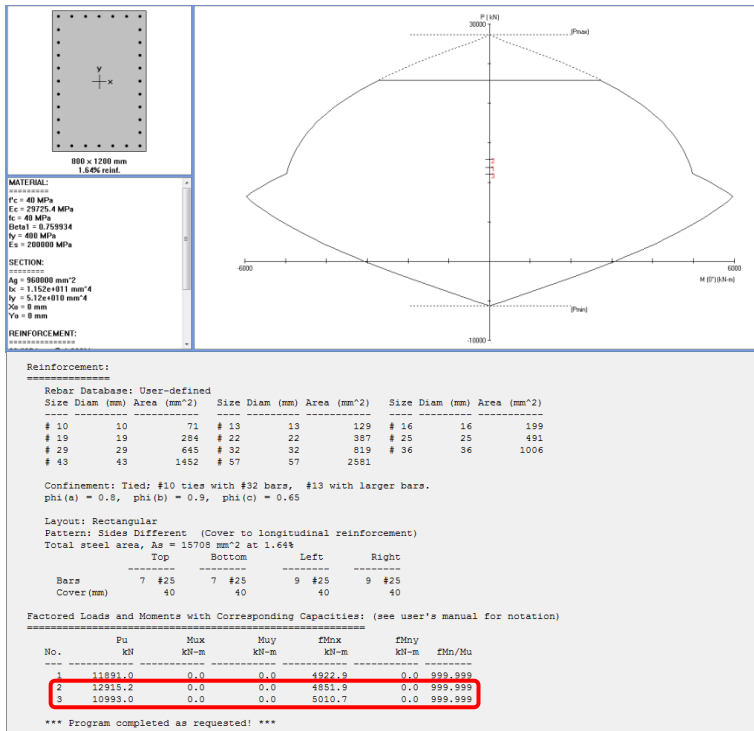
b) Menentukan nilai M_{nc}

Nilai M_{nc} didapat dari diagram interaksi P - M dengan menggunakan bantuan *software* PCACOL. Dengan memasukkan data penulangan *As Built Drawing*, serta hasil gaya aksial dari analisa permodelan menggunakan SAP2000, maka diketahui kapasitas kolom dalam menerima aksial yang terjadi.



Gambar 6. 3 Hasil Analisa PCACOL

Dari gambar diatas, setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu PCACOL terhadap struktur yang telah di modifikasi, menunjukkan bahwa penampang kolom yang ditinjau mampu menahan gaya aksial yang terjadi.



Gambar 6. 4 Analisa Hasil PCACOL pada kolom

Dari Gambar 6.3 diketahui nilai M_{ncatas} dan $M_{ncbawah}$ adalah 4851,9 kN, dan 5010,7 kN.

$$\sum M_g = M_{ncatas} + M_{ncbawah} = 4851,9 + 5010,7 = 9862,6 \text{ KNm}$$

$$(1,2) \sum M_{nb} = 1,2 \times 1257,88 = 1509,46 \text{ KNm}$$

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \rightarrow \text{syarat "strong column weak beam" terpenuhi}$$

Perhitungan gaya geser desain, V_e

Gaya geser desain yang digunakan untuk menentukan jarak dan luas tulangan transversal ditentukan dari nilai (i), tetapi tidak perlu lebih besar dari nilai (ii), dan harus melebihi nilai (iii) (MacGregor, 2009)

$$(i) \quad V_{sway1} = \frac{M_{prc,atas} + M_{prc,bawah}}{l_u}$$

$$(ii) \quad V_{sway2} = \frac{\sum M_{prb,atas} DF_{atas} + \sum M_{prb,bawah} DF_{bawah}}{l_u}$$

(iii) V_u hasil analisis struktur

a. Hitung $M_{prc,atas}$, dan $M_{prc,bawah}$

$M_{prc,atas}$, dan $M_{prc,bawah}$ didapat dari diagram interaksi kuat mungkin, P_n - M_{pr} kolom. Diagram interaksi didapat dengan menggunakan $f_s = 1,25 f_y$ dan $\phi = 1$. Dari analisa PCACOL sebelumnya diketahui besarnya $M_{prc,atas}$, dan $M_{prc,bawah}$.

$$M_{prc,atas} = 5010,7 \text{ kNm}$$

$$M_{prc,bawah} = 4851,9 \text{ kNm}$$

b. Hitung V_e .

$$V_e = \frac{M_{prc,atas} + M_{prc,bawah}}{l_u} = \frac{5010,7 + 4851,9}{3,7} = 2665,57 \text{ KNm}$$

c. Hitung V_u

Sedangkan untuk M_{pr} akibat tulangan terpasang balok yang berada pada Hubungan Balok Kolom (HBK) didapatkan dari perhitungan sebelumnya yaitu

$$V_u = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{l_u}$$

$$= \frac{1509,46}{3,7} = 407,96 \text{ KN}$$

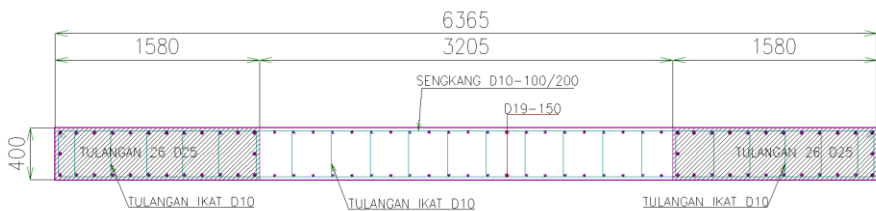
$$\text{Kontrol } V_e > V_u \rightarrow 2665,57 > 407,96 \quad (\text{Memenuhi})$$

Dari analisa diatas, perhitungan geser memenuhi persyaratan sesuai SNI 2847:2013, Pasal 21.6.5.1, dimana nilai V_e tidak boleh lebih kecil dari pada nilai gaya geser terfaktor yang dibutuhkan berdasarkan hasil analisa struktur.

6.3.4 Analisa Struktur Shearwall

Pada bab sebelumnya, melalui program bantu PCACOL, kapasitas dinding geser dalam menerima aksial maupun momen masih dalam batas mampu menahan gaya yang terjadi. Namun, dalam segi persyaratan komponen batas khusus, dinding geser yang menjadi tinjauan analisa tidak memenuhi persyaratan. Oleh karena itu, analisa dinding geser terhadap hasil modifikasi struktur akan dilakukan, dari segi kapasitas maupun persyaratan. Data data dinding geser yang menjadi tinjauan adalah sebagai berikut:

Panjang	: 6365 mm
Tinggi	: 3700 mm
Tebal	: 450 mm
Tebal decking	: 40 mm
D. Tulangan	: 19/25 mm
Ø. Sengkang	: 10 mm
Mutu Tulangan	: 400 Mpa
Mutu Sengkang	: 400 Mpa
Mutu Beton	: 45 Mpa



Gambar 6. 5 Potongan Melintang Dinding Geser

6.3.4.1 Kontrol Ketebalan Terhadap Gaya Geser

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4, kuat geser nominal tiap dinding individual tidak boleh melebihi :

$$0,83 A_{cw} \sqrt{f'c}$$

Dimana :

A_{cw} : Luas penampang dinding yang ditinjau
: $h \times d$ (menurut SNI 2847:2013 pasal 11.9.4, $d=0,8l_w$)

$$V_u < 0,83 A_{cw} \sqrt{f'c}$$

$$1842017 \text{ N} < 0,83 (400.0.8.6365) \sqrt{45}$$

$$1842017 \text{ N} < 11340513,91 \text{ N}$$

Maka, ketebalan *Shear Wall* mampu untuk menahan geser.

6.3.4.2 Kuat Geser Dinding Struktural

Rasio Tulangan Minimum (SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.1)

$$\begin{aligned} A_{cv} &= l_w \times t_w \\ &= 6365 \times 400 \\ &= 2546000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$V_u > 0,083 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c}$$

$$1842017 \text{ N} > 0,083 \cdot 2546000 \cdot 1 \cdot \sqrt{45}$$

$$1842017 \text{ N} > 1417564,24 \text{ N}$$

Karena nilai V_u melebihi dari nilai $0,083 A_{cv} \sqrt{f'c}$, rasio tulangan minimum ditentukan sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 21.9.2.1 diambil sebesar 0,0025

V_n Berdasar SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1 kuat geser nominal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'c} + \rho_t f_y)$$

Dimana :

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{54000}{6365} = 8,48$$

$$= 8,48 > 3$$

$$\alpha_c = 0,25 \text{ untuk } h_w/l_w \leq 1,5$$

$$= 0,17 \text{ untuk } h_w/l_w \geq 2,0$$

$$= \text{variatif, untuk } h_w/l_w \text{ antara } 1,5-2,0$$

Karena $h_w/l_w \geq$, $\alpha_c = 0,17$

Menurut data *As Built Drawing*, tulangan transversal pada dinding geser terpasang D10-100/200

Rasio tulangan transversal terpasang ialah :

$$\rho_t = \frac{2 \times A_s}{s \times t}$$

$$= \frac{2 \times 78,54}{100 \times 400}$$

$$= 0,0039 > \rho_{\min} \text{ OK.}$$

Maka dapat dihitung kuat geser nominal sebagai berikut :

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$$

$$= 2546000 (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{45} + 0,0039 \cdot 400)$$

$$= 6875204,83 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 6875204,83$$

$$= 5156403,62 \text{ N}$$

$$V_u = 1842017 \text{ N} < \phi V_n = 5156403,62 \text{ N}$$

*) Dinding cukup kuat untuk menahan geser.

SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4 membatasi kuat geser nominal maksimum dinding geser sebagai berikut:

$$V_{n-\text{maks}} = 0,83 \cdot A_{cw} \cdot \sqrt{f'_c}$$

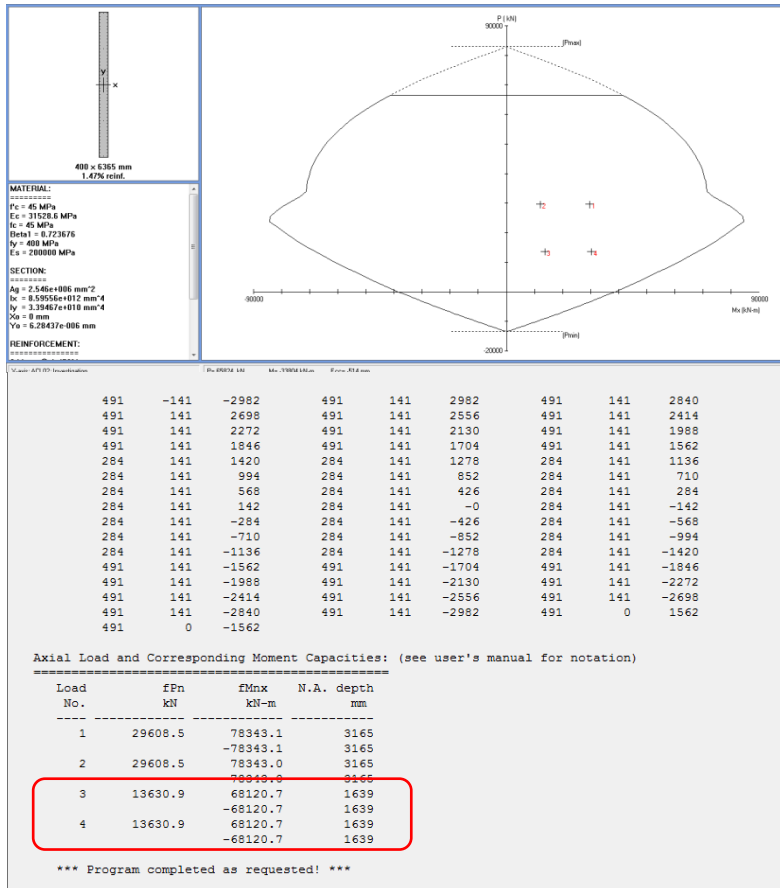
$$= 0,83 \cdot 2546000 \sqrt{45}$$

$$= 14175642,5 \text{ N}$$

Diambil nilai terkecil dan ditetapkan $\phi V_n = 5156403,62 \text{ N}$.

6.3.4.3 Evaluasi Dinding Geser Terhadap Kombinasi Aksial dan Lentur

Kuat tekan lentur dinding struktural diperoleh dengan membuat diagram interaksi dari dinding tersebut. Dengan bantuan program Pca Col, diagram interaksi dari dinding struktural tersebut dapat dilihat pada gambar 6.5 . Dimana dari diagram tersebut nampak bahwa kapasitas dinding dalam menahan aksial yang terjadi masih memenuhi.



Gambar 6. 6 Hasil Analisa PCACOL terhadap Dinding Geser

6.3.4.4 Pemeriksaan Terhadap Syarat Komponen Batas Khusus (*Special Boundary Element*)

Komponen batas khusus pada dinding geser eksisting terpasang dengan panjang 1580 mm terhadap serat tekan terluar, oleh karena itu, pemeriksaan mengenai syarat komponen batas khusus ini harus dilakukan.

- Berdasar pendekatan tegangan

$$A_g = 2546000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= 1/12 \times 400 \times 6365^3 \\ &= 8,6 \times 10^{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= lw/2 \\ &= 6365/2 \\ &= 3182,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, apabila:

$$\frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u \cdot y}{I_g} > 0,2 f'_c$$

$$\frac{13630900}{2546000} + \frac{301527102 \times 3182,5}{8,6 \times 10^{12}} > 0,2 f'_c$$

$$5,35 + 1,11 > 9 \text{ Mpa}$$

$$6,45 > 9 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan hasil modifikasi struktur, tidak dibutuhkan komponen batas khusus pada dinding struktural.

- Berdasar pendekatan perpindahan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.6, daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, dimana :

$$c \geq \frac{lw}{600 \left(\frac{\delta u}{hw} \right)}$$

Dimana $\frac{\delta u}{h_w}$ tidak boleh diambil kurang dari 0,007.

Nilai δu adalah nilai ΔM pada lantai tertinggi pada masing-masing arah.

Nilai syarat komponen batas :

$$\begin{aligned}\text{Arah } y &= \delta u / h_w \\ &= 58,5 / 37000 \\ &= 0,00061\end{aligned}$$

$$\delta_u / h_w < 0,007 \rightarrow \text{dipakai } \delta_u / h_w = 0,007$$

$$\begin{aligned}\frac{l_w}{600(\delta_u / h_w)} &= \frac{6365}{600 \cdot 0,007} \\ &= 1515,476 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dari hasil analisa PCACol didapatkan hasil dari C adalah 1639 mm, maka

$$c > \frac{l_w}{600(\delta_u / h_w)} \rightarrow \text{persyaratan komponen batas khusus memenuhi}$$

6.3.4.5 Penentuan Panjang Elemen Pembatas Khusus

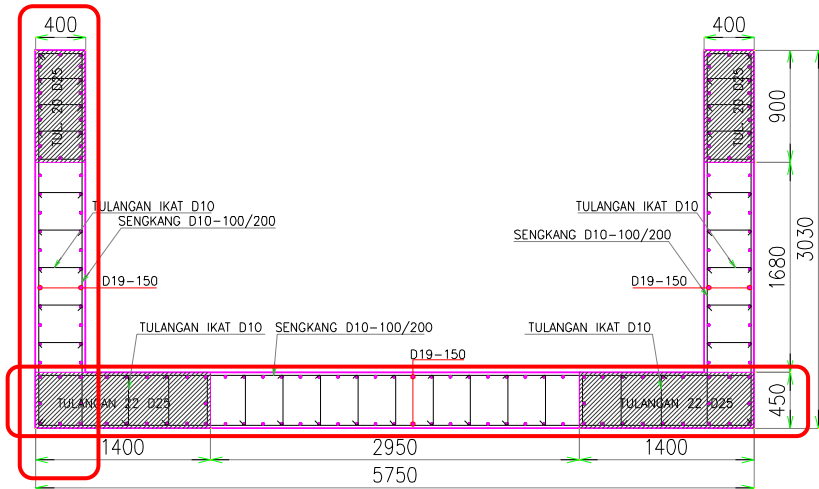
Dari ketentuan mengenai komponen batas khusus, panel dinding geser yang ditinjau tidak memenuhi persyaratan yang ada. Maka dari itu, perhitungan mengenai *boundary element* Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.6.4, *boundary element* harus dipasang secara horisontal dari sisi serat tekan terluar tidak kurang daripada $(c - 0,1 \ell_w)$ dan $c/2$.

$$\begin{aligned}- (c - 0,1 \ell_w) &= 1639 - (0,1 \times 6365) \\ &= 999,5 \text{ mm} \\ - c/2 &= 1639/2 \\ &= 819,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Panjang *boundary element* harus dipasang minimal sejarak 1000 mm dari serat tekan terluar, pada elemen eksisting

digunakan jarak *special boundary element* sepanjang 1580 mm. oleh karena itu, panjang *boundary element* dinding geser eksisting telah memenuhi persyaratan.

6.3.5 Analisa Struktur Corewall



Pada bab sebelumnya, melalui program bantu PCACOL, kapasitas dinding geser dalam menerima aksial maupun momen masih dalam batas mampu menahan gaya yang terjadi. Namun, dalam segi persyaratan komponen batas khusus, dinding geser yang menjadi tinjauan analisa tidak memenuhi persyaratan. Oleh karena itu, analisa dinding geser terhadap hasil modifikasi struktur akan dilakukan, dari segi kapasitas maupun persyaratan. Data data dinding geser yang menjadi tinjauan adalah sebagai berikut:

Panjang	: 5750 mm
Tinggi	: 3030 mm
Tebal	: 400/450 mm
Tebal decking	: 40 mm
D. Tulangan	: 19/25 mm

Ø. Sengkang	: 10 mm
Mutu Tulangan	: 400 Mpa
Mutu Sengkang	: 400 Mpa
Mutu Beton	: 45 Mpa

6.3.5.1 Kontrol Ketebalan Terhadap Gaya Geser

Pada setiap segmen *Corewall* akan dihitung ketebalan terhadap geser yang terjadi. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4, kuat geser nominal tiap dinding individual tidak boleh melebihi:

$$0,83 A_{cw} \sqrt{f'c}$$

Dimana :

A_{cw} : Luas penampang dinding yang ditinjau
: h x d (menurut SNI 2847:2013 pasal 11.9.4, d=0,8lw

Pada dinding struktural Segmen 4B, ketebalan terhadap geser:

$$\begin{aligned} V_{u1} &< 0,83 A_{cw} \sqrt{f'c} \\ 482474 \text{ N} &< 0,83 (400.0,8.3030) \sqrt{45} \\ 482474 \text{ N} &< 5398547,86 \text{ N} \end{aligned}$$

Dinding struktural Segmen 4B mampu untuk menahan geser yang terjadi akibat kombinasi gempa.

Selanjutnya, dilakukan kontrol terhadap dinding struktural segmen 4A

$$\begin{aligned} V_{u2} &< 0,83 A_{cw} \sqrt{f'c} \\ 3693185 \text{ N} &< 0,83 (450.0,8.5750) \sqrt{45} \\ 3693185 \text{ N} &< 11525365,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka, ketebalan dinding struktural segmen 4A mampu untuk menahan geser.

6.3.5.2 Kuat Geser Dinding Struktural

Rasio Tulangan Minimum pada setiap dinding geserser diatur sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.1

$$\begin{aligned} A_{cv} 4A &= l_w \times t_w \\ &= 5750 \times 450 \\ &= 2587500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &> 0,083 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \\ 3693185 \text{ N} &> 0,083 \cdot 2587500 \cdot 1 \cdot \sqrt{45} \\ 3693185 \text{ N} &> 1440670,65 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena nilai V_u melebihi dari nilai $0,083 A_{cv} \sqrt{f'c}$, rasio tulangan minimum ditentukan sesuai dengan SNI 2847-2013, Pasal 21.9.2.1 Dimana untuk tulangan ulir lainnya ρ_{min} diambil sebesar 0,0025.

Cek Kebutuhan Lapis Tulangan (SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.2)

$$\begin{aligned} 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} &= 0,17 \cdot 2587500 \cdot 1 \cdot \sqrt{45} \\ &= 2950771 \text{ N} \\ V_u = 3693185 \text{ N} &< 2950771 \text{ N} \end{aligned}$$

Sesuai dengan persyaratan pada SNI 2847-2013 pasal 21.9.2.2 Tulangan dipasang minimum 2 lapis pada suatu dinding jika V_u melebihi $0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c}$.

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.1 tulangan geser harus disediakan dalam dua arah tegak lurus pada bidang dinding dengan rasio tulangan minimum untuk arah vertikal dan horisontal ialah 0,0025.

- Luas minimal tulangan per m' (Asl dan Ast)

$$\begin{aligned} 0,0025 A_{cv} &= 0,0025 \cdot (450 \times 1000) \\ &= 1125 \text{ mm}^2/\text{m} \\ &= 1,125 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Sesuai dengan data *As Built* Drawing, digunakan D10-100

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 78,54 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pakai} &= 2 \times A_s \\
 &= 2 \times 78,54 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2 \\
 - \text{ Jarak Tulangan (s)} \\
 s \text{ pakai} &= \frac{A_{s \text{ pakai}}}{A_{s \text{ perlu}}} \\
 &= \frac{157,08 \text{ mm}^2}{1,125 \text{ mm}^2} \\
 &= 139,62 \text{ mm} \\
 s \text{ pakai} = 100 &< 150 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})
 \end{aligned}$$

V_n Berdasar SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1 kuat geser nominal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$$

Dimana :

$$\frac{hw}{lw} = \frac{45500}{5750} = 7,91$$

$$= 7,91 > 3$$

$$\alpha_c = 0,25 \text{ untuk } hw/lw \leq 1,5$$

$$= 0,17 \text{ untuk } hw/lw \geq 2,0$$

$$= \text{variatif, untuk } hw/lw \text{ antara } 1,5-2,0$$

$$\text{Karena } hw/lw \geq 3, \alpha_c = 0,17$$

Menurut data *As Built Drawing*, tulangan transversal pada dinding geser terpasang D10-100

Rasio tulangan transversal terpasang ialah :

$$\begin{aligned}
 \rho_t &= \frac{2 \times A_s}{s \times t} \\
 &= \frac{2 \times 78,54}{100 \times 450} \\
 &= 0,0035 > \rho_{\min} \text{ OK.}
 \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung kuat geser nominal sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_n &= A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \\
 &= 2587500 (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{45} + 0,0034 \cdot 400) \\
 &= 6469771 \text{ N} \\
 \phi V_n &= 0,75 \cdot 6469771 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$= 4852328,41 \text{ N}$$

$$V_u = 3693185 \text{ N} < \phi V_n = 4852328,41 \text{ N}$$

Dinding Struktural segmen 4A cukup kuat untuk menahan geser.

SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4 membatasi kuat geser nominal maksimum dinding geser sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{n-\text{maks}} &= 0,83 \cdot A_{cw} \cdot \sqrt{f'_c} \\ &= 0,83 \cdot 2587500 \sqrt{45} \\ &= 14406706,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil dan ditetapkan $\phi V_n = 4852328,41 \text{ N}$.

Pada dinding struktural segmen 4B, dihitung kuat geser nominal sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_n &= A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \\ &= 1212000 (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{45} + 0,0034 \cdot 400) \\ &= 1382159,7 \text{ N} \\ \phi V_n &= 0,75 \cdot 1382159,7 \text{ N} \\ &= 1036619,77 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 482474 \text{ N} < \phi V_n = 1036619,77 \text{ N}$$

Dinding Struktural segmen 4B cukup kuat untuk menahan geser.

SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4 membatasi kuat geser nominal maksimum dinding geser sebagai berikut:

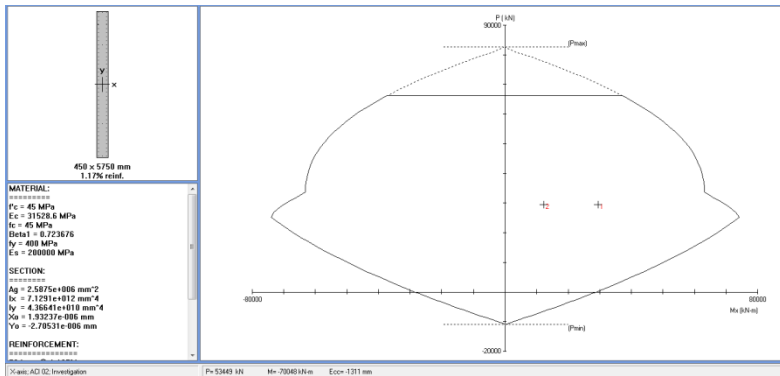
$$\begin{aligned} V_{n-\text{maks}} &= 0,83 \cdot A_{cw} \cdot \sqrt{f'_c} \\ &= 0,83 \cdot 1212000 \sqrt{45} \\ &= 6748184,83 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil dan ditetapkan $\phi V_n = 1036619,77 \text{ N}$.

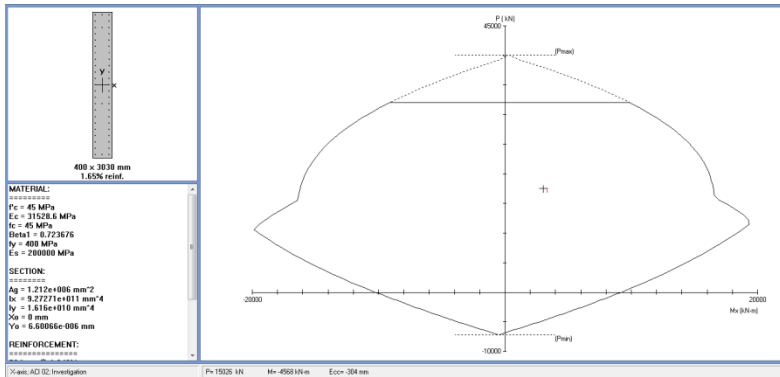
6.3.5.3 Evaluasi Dinding Geser Terhadap Kombinasi Aksial dan Lentur

Kuat tekan lentur dinding struktural diperoleh dengan membuat diagram interaksi dari dinding tersebut. Dengan bantuan program Pca Col, diagram interaksi dari dinding struktural tersebut dapat dilihat pada gambar. Dimana dari

diagram tersebut nampak bahwa kapasitas dinding dalam menahan aksial yang terjadi masih memenuhi.



Gambar 5.15 Diagram PCACOL Dinding Struktural 4A



Gambar 5.16 Diagram PCACOL Dinding Struktural 4B

6.3.5.4 Pemeriksaan Terhadap Syarat Komponen Batas Khusus (*Special Boundary Element*)

Komponen batas khusus pada dinding geser eksisting terpasang dengan panjang 1580 mm terhadap serat tekan terluar, oleh karena itu, pemeriksaan mengenai syarat komponen batas khusus ini harus dilakukan.

Segmen 4A

- Berdasar pendekatan tegangan

$$A_g = 2587500 \text{ mm}^2$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$= 1/12 \times 450 \times 5750^3$$

$$= 7,13 \times 10^{12}$$

$$y = I_w/2$$

$$= 5750/2$$

$$= 2875 \text{ mm}$$

Daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, apabila:

$$\frac{Pu}{Ag} + \frac{Mu.y}{Ig} > 0,2 f'c$$

$$\frac{29513230}{2587500} + \frac{12306780000.2875}{7,13 \times 10^{12}} > 0,2 f'c$$

$$11,4 + 4,96 > 9 \text{ Mpa}$$

$$16,36 \text{ Mpa} > 9 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dibutuhkan komponen batas khusus pada dinding struktural.

- Berdasar pendekatan perpindahan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.6, daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, dimana :

$$c \geq \frac{l_w}{600 \left(\frac{\delta u}{h_w} \right)}$$

Dimana $\frac{\delta u}{h_w}$ tidak boleh diambil kurang dari 0,007.

Nilai δu adalah nilai ΔM pada lantai tertinggi pada masing-masing arah.

Nilai syarat komponen batas :

$$\begin{aligned} \text{Arah y} &= \delta u / h_w \\ &= 58,5 / 37600 \\ &= 0,00155 \end{aligned}$$

$$\delta_u / h_w < 0,007 \rightarrow \text{dipakai } \delta_u / h_w = 0,007$$

$$\frac{l_w}{600 \left(\delta_u / h_w \right)} = \frac{5750}{600.0,007}$$

$$= 1369,05 \text{ mm}$$

Dari hasil analisa PCACol didapatkan hasil dari C adalah 1504 mm, maka

$$c > \frac{l_w}{600\left(\delta_u/h_w\right)} \rightarrow \begin{array}{l} \text{persyaratan} \\ \text{memenuhi} \end{array} \begin{array}{l} \text{komponen} \\ \text{batas} \end{array} \begin{array}{l} \text{husus} \end{array}$$

Segmen 4B

$$A_g = 1212000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= 1/12 \times 400 \times 3030^3 \\ &= 9,27 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= l_w/2 \\ &= 3030/2 \\ &= 1515 \text{ mm} \end{aligned}$$

Daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, apabila:

$$\frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u \cdot y}{I_g} > 0,2 f'_c$$

$$\frac{17502820}{1212000} + \frac{3046045000 \cdot 1515}{9,27 \times 10^{11}} > 0,2 f'_c$$

$$14,44 + 4,27 > 9 \text{ Mpa}$$

$$18,71 \text{ Mpa} > 9 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dibutuhkan komponen batas khusus pada dinding struktural.

- Berdasar pendekatan perpindahan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.6, daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, dimana :

$$c \geq \frac{l_w}{600\left(\frac{\delta_u}{h_w}\right)}$$

Dimana $\frac{\delta_u}{h_w}$ tidak boleh diambil kurang dari 0,007.

Nilai δu adalah nilai ΔM pada lantai tertinggi pada masing-masing arah.

Nilai syarat komponen batas :

$$\begin{aligned}\text{Arah } y &= \delta u / h_w \\ &= 58,5 / 37600 \\ &= 0,00155\end{aligned}$$

$$\delta_u / h_w < 0,007 \rightarrow \text{dipakai } \delta_u / h_w = 0,007$$

Dinding Struktural Segmen 4A

$$\begin{aligned}\frac{l_w}{600(\delta_u / h_w)} &= \frac{5750}{600 \cdot 0,007} \\ &= 1369,05 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dari hasil analisa PCACol didapatkan hasil dari C adalah 1504 mm, maka

$$c > \frac{l_w}{600(\delta_u / h_w)} \rightarrow \text{persyaratan komponen batas khusus memenuhi}$$

Dinding Struktural Segmen 4B

$$\begin{aligned}\frac{l_w}{600(\delta_u / h_w)} &= \frac{3030}{600 \cdot 0,007} \\ &= 721,43 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dari hasil analisa PCACol didapatkan hasil dari C adalah 944 mm, maka

$$c > \frac{l_w}{600(\delta_u / h_w)} \rightarrow \text{persyaratan komponen batas khusus memenuhi}$$

6.3.5.5 Penentuan Panjang Elemen Pembatas Khusus

Dari ketentuan mengenai komponen batas khusus, panel dinding geser yang ditinjau tidak memenuhi persyaratan yang ada. Maka dari itu, perhitungan mengenai *boundary element* Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.6.4, *boundary element* harus dipasang secara horisontal dari sisi serat tekan terluar tidak kurang daripada $(c - 0,1 \ell_w)$ dan $c/2$.

- Dinding Struktural Segmen 4A
 - $(c - 0,1 \ell_w) = 1504 - (0,1 \times 5750)$
 $= 929 \text{ mm}$
 - $c/2 = 929/2$
 $= 464,5 \text{ mm}$
- Dinding Struktural Segmen 4B
 - $(c - 0,1 \ell_w) = 994 - (0,1 \times 3030)$
 $= 691 \text{ mm}$
 - $c/2 = 691/2$
 $= 345,5 \text{ mm}$

Panjang *boundary element* harus dipasang minimal sejarak 929 mm dari serat tekan terluar, digunakan jarak *special boundary element* sepanjang 1000 mm pada dinding struktural segmen 4A. Panjang minimum *Special Boundary Element* yang dibutuhkan \geq Panjang *Special Boundary Element* eksisting, maka persyaratan komponen batas khusus tidak memenuhi.

Pada dinding struktural segmen 4B, panjang *boundary element* harus dipasang minimal sejarak 691 mm dari serat tekan terluar, digunakan jarak *special boundary element* sepanjang 700 mm. Panjang minimum *Special Boundary Element* yang dibutuhkan \geq Panjang *Special Boundary Element* eksisting, maka persyaratan komponen batas khusus tidak memenuhi.

6.3.5.6 Kesimpulan Evaluasi Struktur Dinding Geser

Pada penampang dinding geser yang menjadi tinjauan, kapasitas penampang dalam menerima gaya yang terjadi masih

memenuhi. Namun, pada bab sebelumnya, diperoleh hasil dimana nilai Komponen Batas Khusus tidak memenuhi persyaratan. Setelah dilakukan modifikasi berupa pemotongan lantai diperoleh hasil dimana struktur dinding geser masih mampu menahan gaya yang terjadi, selain itu persyaratan mengenai pemasangan Komponen Batas Khusus juga telah memenuhi persyaratan sesuai SNI 2847-2013.

Pada struktur Corewall, dari hasil analisa kapasitas penampang diperoleh bahwa dinding geser pada segmen 4a maupun 4b masih memenuhi secara kapasitas penampang. Namun, secara persyaratan Komponen Batas Khusus masih belum memenuhi. Setelah dilakukan modifikasi gedung, diperoleh bahwa pada dinding geser segmen 4a, persyaratan pemasangan Komponen Batas Khusus telah memenuhi persyaratan, dimana panjang KBK eksisting telah memenuhi persyaratan yang telah dihitung setelah modifikasi. Namun, pada dinding geser segmen 4B, persyaratan KBK masih belum memenuhi, hal ini dikarenakan dalam pemasangan KBK eksisting hanya dipasang 1 sisi saja. Sedangkan persyaratan KBK seharusnya dipasang di serat tekan terluar di masing-masing sisi dinding geser.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB VII

METODE KONSTRUKSI

7.1 Pekerjaan Konstruksi Kolom

Struktur kolom merupakan elemen penting pada struktur gedung yang berguna menahan beban pada balok yang selanjutnya disalurkan menuju tanah. Oleh karena pentingnya elemen kolom, maka kekuatan kolom pun juga dipengaruhi oleh beberapa hal seperti pada saat perhitungan perencanaan dan pelaksanaan. Pada setiap pelaksanaan konstruksi dibutuhkan adanya inovasi teknologi, agar proses konstruksi berjalan aman dan efektif, serta berkualitas. Selain itu, efisiensi pada saat proses konstruksi berhubungan dengan anggaran kebutuhan konstruksi meliputi tenaga kerja, material serta waktu pelaksanaan, sehingga saat pelaksanaan dapat terkontrol dengan baik.

Gedung One East Residences memiliki sebagian besar kolom berbentuk persegi panjang, dan sebagian kecil berbentuk persegi. Pada dasarnya, tahapan proses konstruksi kolom mengikuti rangkaian kegiatan dan prosedur pelaksanaan yang dirancang sesuai standard dan telah di uji cobakan. Oleh karena itu proses konstruksi kolom secara keseluruhan sama.

Data Perencanaan Pekerjaan Kolom:

Mutu beton (f_c')	: 40 Mpa
Mutu tulangan (f_y)	: 400 Mpa
Dimensi	: 800 mm x 1200 mm
Diameter Tulangan	: 25 mm
Diameter Sengkang	: 10 mm
Decking	: 40 mm

Bekisting

Bekisting yang digunakan adalah produk dari System PERI formwork tipe Vario Quattro Column Formwork dengan spesifikasi sebagai berikut:

Cross-Sections = up to (120 x 120) cm

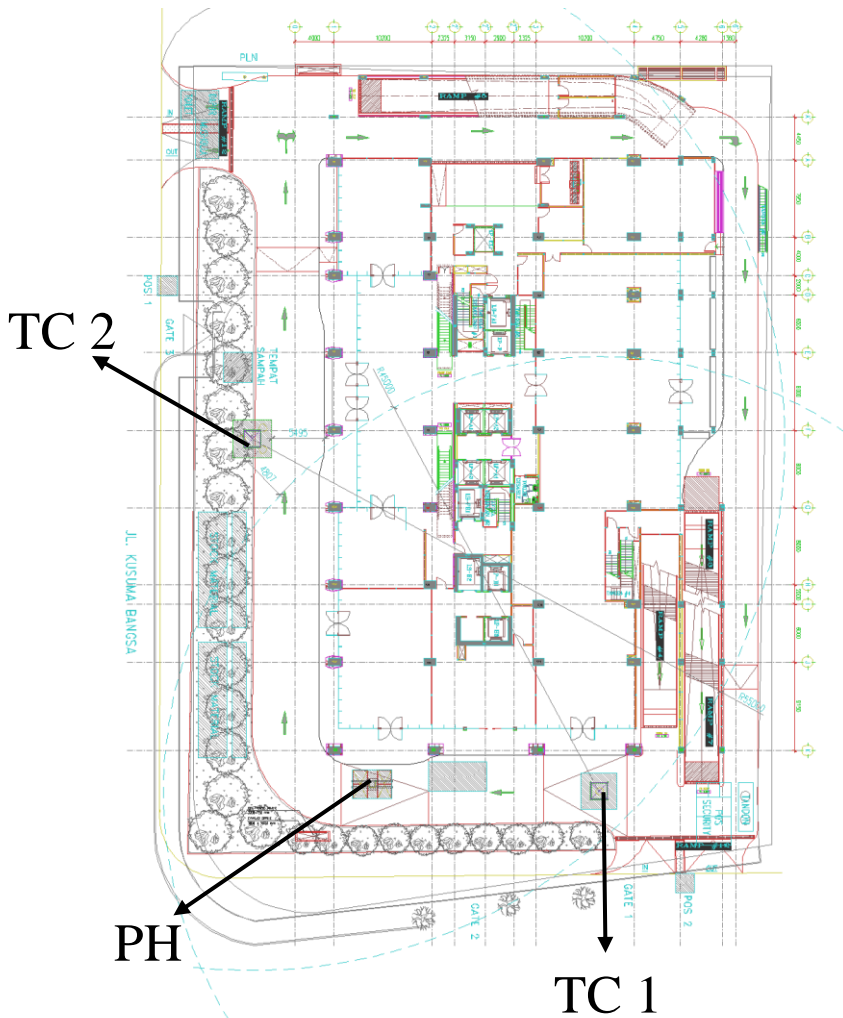
Tekanan beton segar = 100 KN/m²
 Panel Bekisting = Multiplex Phenol Film 18 mm



Gambar 7. 1 Sistem Peri Vario Quattro Formwork

Dalam pelaksanaan pekerjaan stuktur, terdapat prosedur pelaksanaan sesuai dengan standar yang ada. Hal ini sangat penting dilakukan dan direncanakan karena mempengaruhi produktivitas pelaksanaan pekerjaan. Tahap pertama dalam prosedur pelaksanaan pekerjaan konstruksi adalah tahap persiapan. pekerjaan persiapan ini meliputi beberapa pekerjaan yang menunjang dari pekerjaan utamanya. Tahap persiapan ini meliputi pembersihan lahan, pembangunan akses infrastruktur dan mobilisasi proyek, koordinasi lingkungan sekitar proyek, dan pembangunan beberapa *temporary facility* serta alat bantu penunjang seperti TC (*Tower Crane*). Khusus dalam penentuan letak alat bantu TC dan PH harus mempertimbangkan beberapa hal dalam proses pelaksanaan tidak terjadi mobilisasi atau penempatan berulang yang dapat menambah waktu pelaksanaan. Dalam penempatan alat bantu TC dan PH dipilih letak yang strategis yang dapat mencakup keseluruhan pembangunan proyek.

Berikut ini adalah denah penempatan alat bantu TC



Gambar 7. 2 Denah TC dan PH

Untuk penentuan alat bantu TC harus disesuaikan dengan lebar dan panjang gedung, sehingga lengan TC yang digunakan akan mampu untuk menjangkau seluruh bagian wilayah gedung sehingga memudahkan proses mobilisasi.

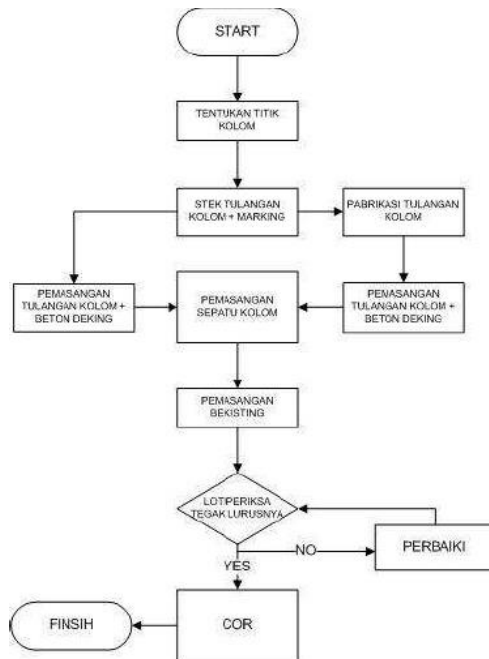
Untuk spesifikasi Tower crane, akan diuraikan sebagai berikut:

1 unit TC dari *Potain Tower Crane*

JIB = 60 m,

Kapasitas ujung = 1,5 Ton

Setelah seluruh tahap persiapan selesai, selanjutnya rangkaian pelaksanaan konstruksi kolom dilakukan. Pelaksanaan konstruksi kolom akan ditunjukkan sesuai diagram alir berikut ini:



Gambar 7. 3 Diagram Alir Pekerjaan Kolom

7.1.1 Penentuan As kolom

Titik-titik dari as kolom diperoleh dari hasil surveying pengukuran dan pematokan menggunakan alat bantu seperti theodolit. Penentuan ini disesuaikan dengan gambar yang telah direncanakan berupa gambar *Shop Drawing*. Penentuan as kolom dilakukan oleh tim surveyor khusus yang berpengalaman, khususnya dalam pelaksanaan gedung bertingkat. Penentuan as kolom dilakukan dengan bantuan alat theodolite dan waterpass berdasarkan *shop drawing* dengan menggunakan acuan yang telah ditentukan bersama dari titik BM (Bench Mark). Posisi as kolom arah vertikal ditentukan berdasarkan as kolom pada lantai sebelumnya. Untuk marking pada patok as kolom digunakan garis dari sipatan.



Garis
Sipatan

Gambar 7. 4 Garis Sipatan

7.1.2 Pembesian kolom

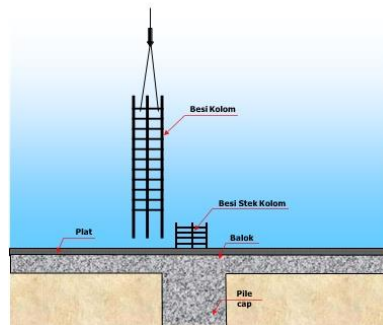
Proses setelah marking dan penentuan as kolom adalah proses pembesian. Pada proses pekerjaan pembesian ini terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, diantaranya:

- b. Proses fabrikasi tulangan

Pada proses fabrikasi tulangan kolom, proses fabrikasi dilakukan di bagian tempat perakitan khusus pada suatu proyek (los pekerjaan pembesian). Pemasangan tulangan utama dilakukan terlebih dahulu sebelum pemasangan sengkang, terlebih dahulu dibuat tanda pada tulangan utama dengan kapur. Pada setiap pertemuan antara tulangan utama dan sengkang diikat oleh kawat (*bendrat*) dengan sistem silang.

c. Proses Mobilisasi

Setelah tulangan selesai dirakit, besi tulangan tersebut selanjutnya diangkut dengan menggunakan Tower Crane ke lokasi lantai yang akan dipasang.

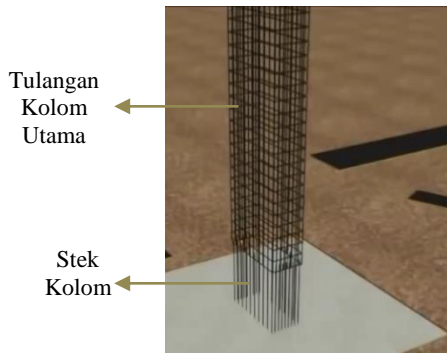


Gambar 7. 5 Mobilisasi Tulangan Kolom

d. Proses Instalasi Tulangan

Setelah besi terpasang pada posisinya dan cukup kaku, lalu dipasang beton tahu atau beton decking sesuai ketentuan. Beton decking ini nantinya juga berfungsi sebagai selimut beton. pada saat proses instalasi tulangan ini dibutuhkan tenaga kerja yang terampil dalam penyambungan

pada kolom tersebut agar kolom terletak tegak lurus seperti kolom di bawahnya. Pemasangan tulangan dilakukan dengan cara mengikatkan kawat bendrat antara tulangan utama kolom dan stek penyaluran yang telah terpasang.



Gambar 7. 6 Pemasangan Tulangan Kolom

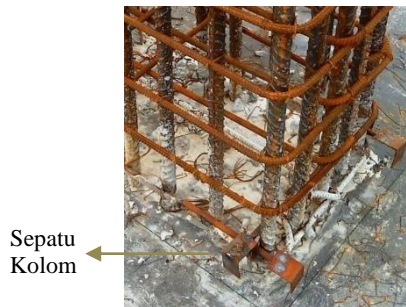
7.1.3 Pemasangan Bekisting Kolom

Selanjutnya, dalam proses konstruksi kolom, tahap setelah pembesian kolom adalah pemasangan cetakan/bekisting kolom yang dilaksanakan apabila pelaksanaan pembesian tulangan telah selesai dilaksanakan.

Berikut ini adalah uraian mengenai pelaksanaan pemasangan bekisting kolom:

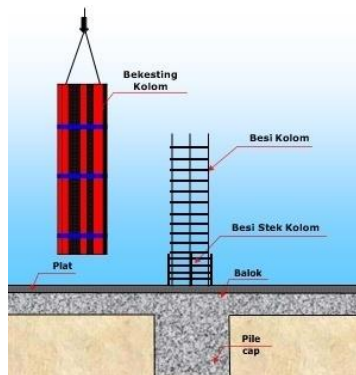
- a. Bersihkan area kolom terutama sampah bekas pembesian, dengan menggunakan alat seperti compressor dan *marking* posisi bekisting kolom.
- b. Membuat garis pinjaman dengan menggunakan sipatan dari as kolom ke kolom berikutnya, berjarak 1 m dari masing-masing *as* kolom.

- c. Setelah diperoleh garis pinjaman, tanda kolom dibuat pada lantai sesuai dengan dimensi kolom yang akan dibangun, tanda ini berfungsi sebagai acuan dalam penempatan bekisting kolom.
- d. *Marking* sepatu kolom sebagai tempat bekisting
- e. Pasang sepatu kolom pada tulangan utama atau tulangan sengkang. Pasang sepatu kolom sesuai *marking* yang ada.



Gambar 7. 7 Sepatu Kolom

- f. Selanjutnya bekisting diangkat menggunakan tower crane dan ditempatkan pada kolom yang telah diberi kaki kolom seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 7. 8 Pemasangan Bekisting Kolom

- k. Setelah tahapan diatas telah dikerjakan, maka kolom tersebut siap dicor.

7.1.4 Pengecoran kolom

Setelah bekisting terpasang dengan benar, selanjutnya proses pengecoran dilakukan. Adapun langkah kerja pekerjaan pengecoran kolom adalah sebagai berikut:

a. Tahap pembersihan

Pada tahap persiapan, dilakukan proses pembersihan terhadap kotoran sisa-sisa pemasangan bekisting ataupun tulangan. Sebelum dilaksanakan pengecoran, kolom yang akan dicor harus benar-benar bersih dari kotoran agar tidak membahayakan konstruksi dan menghindari kerusakan pada beton.

b. Tahap persiapan

Setelah kondisi bersih, siapkan alat-alat distribusi pengangkutan material beton, seperti *concrete bucket* yang diangkat menggunakan TC. Sebelum pengecoran dilakukan, siram permukaan beton lama dengan beton baru dengan menggunakan *Calbond* (super bonding agent).

c. Kontrol mutu beton

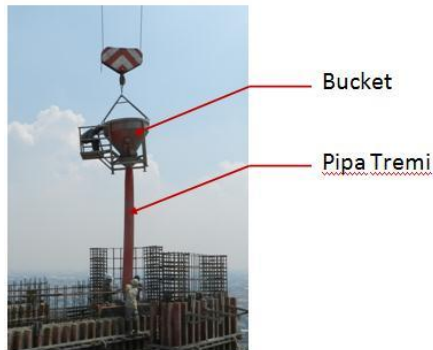
Kontrol terhadap mutu beton dilakukan sebelum beton dituang ke bekisting kolom. Kontrol mutu beton pada umumnya dengan melakukan tes uji slump, cek suhu beton dan kuat tekan beton. berdasarkan SNI 7394 – 2008, nilai slump yang diisyaratkan adalah 12 ± 2 cm.



Gambar 7. 10 Tes Slump

d. Pelaksanaan pengecoran

Setelah kontrol mutu beton memenuhi segala persyaratan, maka beton ready mix dari concrete mixer truck dituang ke dalam concrete bucket dengan kapasitas 0,9 m³. Pengecoran dilakukan dengan menggunakan bucket cor yang dihubungkan dengan pipa tremi dengan kapasitas bucket sampai. Bucket tersebut diangkut dengan menggunakan Tower crane (TC) untuk memudahkan pengerjaan pada saat pengangkatan concrete bucket ditutup/dikunci agar tidak tumpah.



Gambar 7. 11 Pengecoran Kolom

Penuangan beton dilakukan secara bertahap, hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya segregasi yaitu pemisahan agregat yang dapat mengurangi mutu beton. proses pengecoran dilakukan bertahap tiap layer, tahap pertama dilakukan setinggi $\pm 1,5$ meter, setelah itu dilanjutkan ke tahap kedua setinggi elevasi yang telah ditentukan. Selama proses pengecoran berlangsung, pemadatan beton dilakukan menggunakan vibrator. Hal tersebut dilakukan untuk menghilangkan rongga-rongga udara serta untuk mencapai pemadatan yang maksimal.

7.1.5 Pembongkaran bekisting kolom

Setelah proses pengecoran selesai dan setelah beton berumur ± 12 jam, maka dapat dilakukan pembongkaran bekisting. Proses pembongkaran bekisting diuraikan sebagai berikut

- Pertama-tama, plywood dipukul-pukul dengan palu agar lekatan beton pada plywood terlepas, lalu kendorkan baut dan wing nut, kemudian melepas tie rod yang terdapat pada horizontal waller.
- Kendorkan *push pull* (penyangga bekisting), lalu lepas *push pull*.
- Kendorkan baut-baut yang ada pada bekisting kolom, sehingga rangkaian/panel bekisting terlepas.
- Panel bekisting yang telah terlepas, atau setelah dibongkar segera diangkat dengan *tower crane* ke lokasi pabrikasi awal.



Gambar 7. 12 Pembongkaran Bekisting Kolom

7.1.5 Perawatan Beton Kolom

Perawatan beton kolom setelah pengecoran adalah dengan sistem kompon, perawatan beton (*curing*) berfungsi untuk melindungi beton selama berlangsungnya proses pengerasan beton terhadap sinar matahari, pengeringan oleh angin, hujan atau aliran air dan merusakkan secara mekanis atau pengeringan sebelum waktunya. Perawatan beton dilakukan untuk menghindari :

1. Kehilangan banyak air pada proses awal pengerasan beton yang akan mempengaruhi proses pengikatan awal beton.
2. Penguapan air dari beton pada saat pengerasan beton pada hari pertama.
3. Perbedaan temperatur dalam beton, yang akan mengakibatkan retak-retak pada beton.

7.2 Pekerjaan Konstruksi Dinding Geser

Umumnya dinding geser merupakan konstruksi yang umum terdapat bagi gedung tinggi, sebab gedung dengan dinding geser dianggap lebih kaku daripada gedung yang hanya memodalkan sistem rangka pemikul momennya saja. Oleh karena dinding geser dan kolom merupakan 2 elemen vertical yang berfungsi sebagai pengaku, penahan serta penyalur beban menuju tanah. Maka, kekuatan desain dinding geser perlu diperhatikan. Oleh karena itu, selain dari perhitungan yang tepat saat proses perencanaan, saat proses pelaksanaan pun seharusnya juga harus tepat. Proses pelaksanaan konstruksi dinding geser dasarnya memiliki kesamaan dengan kolom, hanya berbeda pada volume pekerjaan, serta pada saat pemasangan bekisting.

Data Perencanaan Pekerjaan Dinding Geser:

Mutu beton (f_c')	: 45 Mpa
Mutu tulangan (f_y)	: 400 Mpa
Dimensi	: 40 mm x 6365 mm

Diameter Tulangan	: 19/25 mm
Diameter Sengkang	: 10 mm
Decking	: 40 mm

7.2.1 Fabrikasi Tulangan Dinding Geser

Proses fabrikasi untuk tulangan dinding geser dilakukan di tempat yang sama dengan proses fabrikasi tulangan kolom yaitu di los pekerjaan pembesian. Berikut merupakan proses fabrikasi tulangan dinding geser:

- Pemotongan tulangan sesuai dengan kebutuhan rencana menggunakan bar bender dan bar cutter.
- Perakitan tulangan dinding geser (prefabrikasi) yang dikerjakan di los besi sesuai dengan gambar shop drawing, sebelum dipasang.

7.2.2 Marking (Penentuan As dinding geser)

Setelah proses fabrikasi tulangan, penentuan As dinding geser dilakukan. Proses ini terbilang sama dengan proses marking pada kolom, mulai dari alat-alat yang digunakan hingga proses marking.

- Penentuan As dinding geser dengan Theodolit dan *waterpass* berdasarkan *shop drawing* dengan menggunakan acuan yang telah ditentukan bersama dari titik BM (*Bench Mark*).
- Buat *As Built Drawing* dari garis pinjaman.
- Pemasangan patok Dinding geser (tanda berupa garis dari sipatan).

Perlu ditekankan bahwa Posisi as dinding geser harus sentris kedudukannya terhadap as dinding pada lantai sebelumnya, untuk itu dilakukan juga pengecekan dengan menggunakan benang dan unting-unting.

7.2.3 Pembesian Dinding Geser

Setelah proses marking dan fabrikasi, dilanjutkan dengan proses pemasangan pembesian (tulangan) pada shearwall. Berikut beberapa proses pembesian dinding geser:

- Marking sepatu Dinding Geser sebagai pengaku posisi tulangan kolom agar tidak berubah posisi pada saat pengecoran dan sebagai tempat batas atau penahan bekisting.
- Pasang sepatu dinding geser pada tulangan utama atau tulangan sengkang.
- Tulangan yang telah selesai dirakit atau difabrikasi diangkut menggunakan tower crane ke lokasi yang akan dipasang.
- Tulangan Dinding Geser yang baru diangkat digabungkan dengan tulangan Dinding Geser yang lama dengan overstek ± 1.00 m
- Kencangkan besi dinding geser dan stek besi dengan menggunakan sengkang.
- Pasang styrofoam pada daerah block-out untuk menjaga beton tidak mengenai daerah block-out saat pengecoran.
- Langkah yang terakhir adalah memasang *decking* beton dengan tebal 4cm yang berguna sebagai pelurus tebal selimut saat pengecoran.

7.2.3 Pemasangan Bekisting

Proses pemasangan bekisting pada dinding geser memiliki kesamaan dengan pemasangan bekisting untuk kolom, diantaranya:

- Bersihkan area dinding geser terlebih dahulu menggunakan alat compressor.
- Olesi bekisting dengan oil form untuk memudahkan proses pelepasan di kemudian waktu.
- Angkat bekisting dinding geser yang telah difabrikasi menggunakan tower crane.

- Tempatkan bekisting sesuai dengan marking yang ada.
- Pemasangan Push Pull prop RSS1 dan Kickers AV1 lebih dari 2 pada bentang memanjang dinding geser. Selain itu, pada pekerjaan konstruksi dinding geser memiliki luas permukaan yang lebih besar daripada kolom, oleh karena itu pemasangan tie rod lebih banyak untuk mengurangi lendutan pada bekisting karena gaya tekan beton segar saat proses pengecoran. Pemasangan tie rod dilindungi oleh pipa PVC dimasukkan ke dalam dinding geser.
- Setelah semua terpasang cek vertikalitas dengan unting-unting dan benang yang ditempatkan pada kedua sisi bekisting.

7.2.4 Pengecoran Dinding Geser

Setelah bekisting terpasang dengan benar, selanjutnya proses pengecoran dilakukan. Adapun langkah kerja pekerjaan pengecoran kolom adalah sebagai berikut:

- Tahap pembersihan
Sebelum dilaksanakan pengecoran, Dinding Geser yang akan dicor harus benar – benar bersih dari kotoran agar tidak membahayakan konstruksi dan menghindari kerusakan beton.
- Tahap Persiapan
Berikan mortar pada sekeliling sepatu dinding geser untuk menghindari kebocoran saat proses pengecoran. Selain itu, siram permukaan beton lama dengan *Calbond* (super bonding agent), tunggu hingga 10 menit.
- Kontrol Mutu Beton
Setelah beton ready mix datang, dilakukan slump test terlebih dahulu pada material beton yang akan digunakan untuk pengecoran. Nilai slump test yang disyaratkan antara 12 ± 2 cm berdasarkan SNI 7394-2008. Setelah nilai slump memenuhi maka diambil

benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm.

- Tahap Pengecoran

Pengecoran dilakukan dengan menggunakan concrete bucket dengan kapasitas sampai 1,2 m³ yang dihubungkan dengan pipa tremi Kemudian diangkut dengan menggunakan tower crane. Sebelum beton dituang ke dalam bekisting usahakan shaft vibrator telah diposisikan mendekati dasar dinding geser dan bagian tengah / sudut. Penuangan beton dilakukan secara bertahap, hal ini untuk menghindari terjadinya *segregasi* yaitu pemisahan agregat yang dapat mengurangi mutu beton

Selama proses pengecoran berlangsung, pemadatan beton dilakukan dengan menggunakan shaft dan vibrator. Hal tersebut dilakukan untuk menghilangkan rongga-rongga udara serta untuk mencapai pemadatan yang maksimal. Untuk pemadatan bagian luar dapat dilakukan dengan memukul-mukul bagian luar bekisting dengan palu kayu / karet.

7.2.5 Pembongkaran Bekisting dinding geser

Setelah pengecoran selesai dan beton sudah mulai kering (minimal 8 jam setelah pengecoran), maka dapat dilakukan pembongkaran bekisting.

Proses pelaksanaan pembongkaran bekisting dinding geser antara lain sebagai berikut;

- Pertama, plywood dipukul-pukul dengan menggunakan palu agar lekatan beton pada plywood dapat terlepas.
- Kendorkan push pull (penyangga bekisting), kemudian lepas push pull.
- Kendorkan baut-baut yang ada pada bekisting dinding geser, sehingga rangkaian atau panel bekisting terlepas.
- Setelah bekisting dibongkar, pasang kepalaan dinding geser *all*.

7.2.6 Perawatan Betondinding geser (Curing)

Perawatan beton dinding geser setelah pengecoran apabila (selain beton kekuatan awal tinggi) harus dirawat pada suhu di atas 10°C dan dalam kondisi lembab untuk sekurang-kurangnya selama 7 hari setelah pengecoran. Perawatan dilakukan dengan cara curing compound, dimana perawatan dilakukam dengan cara menyemprotkan cairan kimia antisol, selama ± 7 hari.

7.3 Time Schedule Pelaksanaan Konstruksi

Time schedule pelaksanaan konstruksi merupakan bagian dari manajemen proyek yang harus diperhatikan untuk efisiensi proyek sehingga proses pelaksanaan sesuai dengan apa yang direncanakan. Pada proses pelaksanaan konstruksi kolom dan dinding geser, waktu pelaksanaan cenderung bervariasi bergantung dengan dimensi dari setiap elemen penampang, jumlah pekerja, jenis bekisting dan juga jenis beton ready mix yang digunakan.

7.3.1 Time Schedule Konstruksi Kolom

Adapun time schedule untuk pekerjaan 1 elemen kolom pada lantai GF dengan ukuran 800 x 1200, adalah:

Tabel 7. 1 Time Schedule Pekerjaan Kolom

Item Pekerjaan	Durasi	Satuan
Pabrikasi Tulangan Kolom	100	Menit
Marking As Kolom	12	Menit
Pemasangan Sepatu Kolom	15	Menit
Pemasangan Tulangan Kolom	20	Menit

Pemasangan Bekisting Kolom	25	Menit
Pengecoran Kolom	92	Menit
Waktu Tunggu Pembongkaran Bekisting	12	Jam
Pembongkaran Bekisting Kolom	25	Menit

Pekerjaan kontruksi kolom dilakukan bertahap karena ada waktu tunggu antara pengecoran kolom dan pembongkaran bekisting. Total waktu yang dibutuhkan mulai pekerjaan pabriksi tulangan hingga pengecoran kolom adalah 289 menit atau kurang lebih 4 - 5 jam. Pembagian waktu pekerjaan kolom adalah :

Hari ke - 1

1. Pabriksi Tulangan Kolom
2. Pemasangan Tulangan dan Bekisting Kolom
3. Pengecoran Kolom

Hari ke - 2

1. Pembongkaran Bekisting Kolom
2. Perawatan Kolom (*Curing*)

7.3.2 Time Schedule Konstruksi Dinding Geser

Adapun time schedule untuk pekerjaan 1 elemen Dinding Geser pada lantai GF dengan ukuran 40 x 6365, adalah:

Tabel 7. 2 Time Schedule Pekerjaan Dinding Geser

Item Pekerjaan	Durasi	Satuan
Pabriksi Tulangan Dinding Geser	120	Menit

Marking As Dinding Geser	25	Menit
Pemasangan Sepatu Dinding Geser	36	Menit
Pemasangan Tulangan Dinding Geser	35	Menit
Pemasangan Bekisting Kolom	45	Menit
Pengecoran Dinding Geser	135	Menit
Waktu Tunggu Pembongkaran Bekisting	12	Jam
Pembongkaran Bekisting Kolom	32	Menit

Pekerjaan kontruksi dinding dilakukan bertahap karena ada waktu tunggu antara pengecoran kolom dan pembongkaran bekisting. Total waktu yang dibutuhkan mulai pekerjaan pabrikasi tulangan hingga pengecoran kolom adalah 428 menit atau kurang lebih 7 jam. Pembagian waktu pekerjaan kolom adalah :

Hari ke - 1

1. Pabrikasi Tulangan Dinding Geser
2. Pemasangan Tulangan dan Bekisting Dinding Geser
3. Pengecoran Dinding Geser

Hari ke - 2

3. Pembongkaran Bekisting Dinding Geser
4. Perawatan Dinding Geser (*Curing*)

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB VIII

KESIMPULAN DAN SARAN

8.1 Kesimpulan

Berdasarkan evaluasi pada tugas akhir terapan dengan judul “Evaluasi Struktur Gedung Apartment One East Residences di Wilayah Gempa Tinggi Sesuai SNI 1726-2012 dan Metode Pelaksanaan Kolom dan Dinding Geser” ada beberapa hal yang dapat disimpulkan, diantaranya:

1. Struktur gedung One East Residences eksisting memiliki periode getar dengan nilai melebihi batas atas yang disyaratkan oleh SNI 1726-2012. Sedangkan menurut SNI 1726-2002, periode getar struktur gedung masih memenuhi persyaratan. Oleh karena itu dilakukan pemotongan (demolisi) lantai yang bertujuan untuk mengetahui seberapa optimum tinggi serta jumlah lantai gedung, sehingga struktur akan memenuhi dari stabilitas maupun kapasitas.
2. Pada struktur penampang pelat, terdapat beberapa elemen yang belum memenuhi dari segi kapasitasnya dalam menahan momen yang terjadi. Salah satu penyebab yang mungkin terjadi adalah karena perbedaan pembebanan, setelah dilakukan perbandingan menggunakan peraturan pembebanan baru (SNI 1727-2013) dan PPIUG 1983, diperoleh hasil bahwa kapasitas penampang pelat masih memenuhi kapasitas jika beban yang digunakan adalah beban hidup dari PPIUG.
3. Pada analisa struktur penampang primer Balok Induk, terdapat beberapa balok yang tidak memenuhi kapasitasnya, salah satu usulan yang paling dirasa ekonomis dapat dilakukan adalah dengan perbesaran

dimensi tulangan. Pada struktur penampang kolom, kapasitas aksial kolom memenuhi secara keseluruhan ketika jumlah lantai gedung adalah 28. Sedangkan pada struktur dinding geser, kapasitasnya dalam menerima kombinasi aksial dan lentur, serta geser masih dalam zona aman. Namun, persyaratan pemasangan komponen batas khusus masih belum memenuhi persyaratan sesuai SNI 2847-2013.

4. Durasi waktu yang dibutuhkan untuk 1 item pekerjaan kolom dan dinding geser dari mulai fabrikasi pembesian sampai dengan pembongkaran bekisting adalah ± 4 -5 jam untuk kolom dan ± 8 jam untuk dinding geser. Durasi ini dapat berubah, bergantung oleh beberapa faktor, antara lain jumlah dan pengalaman tenaga kerja, kesiapan material saat proses pelaksanaan, posisi tempat alat konstruksi seperti TC , metode kerja, hingga adanya bahan campuran pada mix design.

8.2 Saran

Dari hasil analisa selama proses pengerjaan tugas akhir, ada beberapa saran dari penulis yang dapat disampaikan, diantaranya:

1. Tinjauan terhadap evaluasi struktur seharusnya diteliti lebih mendalam, sebelum melakukan evaluasi pada kondisi yang berbeda. Hal ini untuk menghindari terjadinya kesalahpahaman dalam hal perencanaan dan saat evaluasi dari segi pembebanan, maupun permodelan dan analisa struktur.
2. Pada saat ingin melakukan evaluasi, disarankan untuk melakukannya dengan detail yang cukup pada saat permodelan. Sehingga hasil yang didapat lebih presisi dan lebih observatif.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. 2013. **SNI 03-2847 - 2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.** Jakarta : Badan Standardisasi Nasional

Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1726-2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung.** Jakarta : Badan Standardisasi Nasional

Badan Standardisasi Nasional. 2013. **SNI 1727:2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.** Jakarta : Badan Standardisasi Nasional

Iswandi, Imran dan Fajar Hendrik. 2014. **Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang.** Bandung : ITB.

Poerwono, Rachmat. **Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Edisi keempat.** Surabaya : ITS Press

Setiawan, Agus. 2016. **Perencanaan Struktur Beton Bertulang.** Jakarta : Penerbit Erlangga

Husin, Nur Ahmad. 2015. **Struktur Beton.** Sidoarjo: Zifatama Publisher

Data Tanah Mulyosari (Eksisting)

DRILLING LOG										Type of Drilling	Date															
Project No. : 1		Project : Apartemen Grand Dharmaangga				Type of Drilling : Core		Date : 21/08/16		Date																
Bore Hole No. : 1		Lokasi : Jl. Blandiris arah - Mulyorejo				Type of Drilling : Core		Date : 21/08/16		Date																
Wellbore : 0.3m (Dirt)		Diameter : 2.50 (cable track diameter)				Type of Drilling : Core		Date : 21/08/16		Date																
Muka Tanah Semesta																										
Remarks	Depth (m)	Thickness (m)	Lithology	Soil Type	Soil Description	Soil Color	Soil Moisture (%)	Soil Temperature (°C)	Standard Penetration Test		Physical Properties				Atterberg Limit				Calculation Test				Strength Test			
									Blow per 30 cm	N-Value	W _L	C _u	e	G _s	L _L	P _L	P _t	Co	Swell Test	Soil Type	q _{tip}	q _{tip}	q _{tip}	q _{tip}		
	0.00									0 10 20 30 40 50 60																
	-2.00				Umpur Bermanis					+1																
	-4.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-6.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-8.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-10.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-12.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-14.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-16.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-18.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-20.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-22.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-24.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-26.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-28.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-30.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-32.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-34.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-36.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-38.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-40.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-42.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-44.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-46.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-48.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-50.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-52.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-54.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-56.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-58.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-60.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-62.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-64.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-66.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-68.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-70.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-72.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-74.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-76.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-78.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-80.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-82.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-84.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-86.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-88.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-90.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-92.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-94.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-96.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-98.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-100.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-102.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-104.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-106.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-108.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-110.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-112.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-114.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-116.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-118.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-120.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-122.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-124.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-126.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-128.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-130.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-132.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-134.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-136.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-138.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-140.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-142.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-144.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-146.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-148.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-150.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-152.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-154.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-156.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-158.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-160.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-162.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-164.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-166.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-168.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-170.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-172.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-174.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-176.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-178.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-180.00				Lapisan Berhimpun Berpasir Abu-abu					+1																
	-																									

Data Tanah Serui

<

DEPTH (Meter)	VOLUMETRI + GRAVIMETRI								CONSOLIDATION		
	Gs	e	Sr	Wc	n	γ_t	γ_d	γ_{sat}	Pp	Cc	Cv
-3.00	2.567	0.847	100.000	33.00	45.86	1.848	1.390	1.848	*	*	*
-6.00	2.645	0.948	100.000	35.84	48.67	1.844	1.358	1.844	*	*	*
-9.00	2.627	0.864	100.000	32.89	46.35	1.873	1.409	1.873	*	*	*
-12.00	2.635	0.945	100.000	35.86	48.59	1.841	1.355	1.841	*	*	*
-15.00	2.537	1.025	100.000	40.40	50.62	1.759	1.253	1.759	*	*	*
-18.00	2.627	0.948	100.000	36.09	48.67	1.835	1.349	1.835	*	*	*
-21.00	2.648	0.749	100.000	28.29	42.82	1.942	1.514	1.942	*	*	*
-24.00	2.653	0.835	100.000	31.47	45.50	1.901	1.446	1.901	*	*	*
-27.00	2.664	0.799	100.000	29.99	44.41	1.925	1.481	1.925	*	*	*
-30.00	2.672	0.816	100.000	30.54	44.93	1.921	1.471	1.921	*	*	*

DEPTH (Meter)	SIEVE ANALYSIS			ATTERBERG LIMITS			STRENGTH			PERMEABILITAS
	G	S	S+CI	LL	PL	IP	ϕ	C	Cu	
-3.00	2.87	31.48	65.65	34.65	28.64	6.01	35	0	*	
-6.00	20.90	56.96	22.14	NP	NP	NP	36	0	*	
-9.00	21.00	54.50	24.50	NP	NP	NP	35	0	*	
-12.00	0.00	23.80	76.20	35.14	27.34	7.80	0	*	1.125	
-15.00	0.00	34.29	65.71	39.21	28.44	10.77	0	*	1.263	
-18.00	0.00	32.44	67.56	36.09	28.37	7.72	0	*	1.350	
-21.00	0.00	35.43	64.57	43.83	28.49	15.34	0	*	1.150	
-24.00	0.00	20.27	79.73	42.70	28.14	14.56	0	*	1.010	
-27.00	35.50	57.30	7.20	NP	NP	NP	36	0	*	
-30.00	40.60	45.40	14.00	NP	NP	NP	37	0	*	

Brosur Keramik Lantai



VG Allure Cream

Granite 60x60

Kode I GK-20160919-170001

Nama Produk **VG Allure Cream**

Merk Valentino Gress

Kategori Granite

Warna Tersedia Cream

Ukuran Tersedia 60x60

Brosur Spesi Perekat Keramik

Perekat Keramik MU-420



Semen instan untuk pekerjaan pemasangan keramik standar (*ceramic tile*) pada dinding dan lantai.

Keunggulan:

- Daya rekat tinggi dan mudah diaplikasikan.
- Keramik dinding tidak merosot saat dipasang.
- Mencegah terangkatnya pasangan keramik lantai (*popping*).
- Dapat diaplikasikan dengan menggunakan sendok semen atau trowel bergerigi (*notch trowel*).
- Tahan terhadap muai-susut.
- Adukan tidak cepat mengering pada saat diaplikasi.

Isi Kemasan:

25 Kg

Kebutuhan Air:

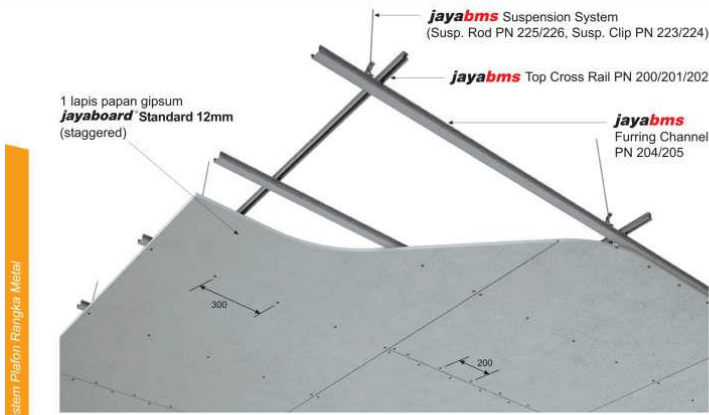
5,5 - 6,0 liter / sak 25 Kg

Daya Sebar:

$\pm 5 \text{ m}^2$ / sak 25 Kg / tebal aplikasi 3 mm
 $\pm 8 \text{ m}^2$ / sak 40 Kg / tebal aplikasi 3 mm

Brosur Plafond dan Penggantung Plafond

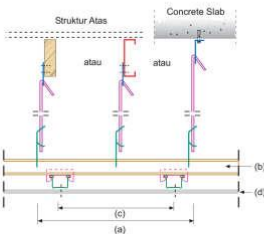
CS18tc - Sistem Plafon Rangka Metal Standard Furring - Luas Ruang > 100 m²



Sistem Plafon Rangka Metal

DETAIL & DATA FISIK

1 lapis papan gipsium **jayaboard**[®] Standard 12mm diaplikasikan suspended.



Papan Gypsum (d)	Material	Jarak Rangka (mm)
Jayaboard Standard 12mm	Suspension Clip PN 223/224	a 1200
	Top Cross Rail PN 200/201/202	b 1200
	Furring Channel PN 204/205	c 600
Jayaboard Standard 9mm	Furring Channel PN 204/205	c 400

- Catatan :
- Pemasangan papan gipsium saling-silang
 - Design Pressure 0 Pa, Deflection span/360
 - Untuk area ruang dengan luas >100 m²
 - Untuk detail produk, lihat brosur produk Jayaboard

Brosur Bata Ringan Citicon

Spesifikasi

Keunggulan

Instalasi

Gambar

Sertifikat



Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

Panjang, L (mm)	: 600
Tinggi, H (mm)	: 200 ; 400
Tebal, T (mm)	: 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200
Berat jenis kering, $\{\rho\}$	: 530 kg/m ³
Berat jenis normal, $\{\rho\}$	: 600 kg/m ³
Kuat tekan, $\{\sigma\}$	: $\geq 4,0$ N/m ²
Konduktifitas termis, $\{\lambda\}$	: 0.14 w/mk

Tebal	mm	75	100	125	150	175	200
Luas Dinding / m ²	m ²	13.33	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Isi / m ³	Blok	111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 20 Juli 1995, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Karya Bhakti Surabaya, SDN Petemon XII Surabaya, SMPN 3 Surabaya, SMAN 2 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN 2 Surabaya tahun 2013, penulis mengikuti Tes Tulis dan diterima di Departemen Teknik

Infrastruktur Sipil pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 3113041083.

Di jurusan Teknik Infrastruktur Sipil ini Penulis mengambil Bidang Studi Struktur Bangunan Gedung. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan kepanitiaan yang diselenggarakan oleh Fakultas. Selain itu, penulis juga sempat aktif sebagai salah satu staff Badan Eksekutif Mahasiswa, selama 2 periode.